

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH EMISI GAS BUANG DALAM PENGUNAAN BAHAN BAKAR LNG PADA KAPAL- KAPAL YANG BEROPERASI DI JALUR APBS DENGAN PEMODELAN DINAMIKA SISTEM

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Bidang Studi
Reliability, Availability, Maintainability, and Safety (RAMS)
Program Studi Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ARIAN PUJI FAJARDIANTO.

NRP 4212 100 058

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badruz Zaman, ST., MT.

NIP. 1977 0802 2008 01 1007

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH EMISI GAS BUANG DALAM PENGUNAAN BAHAN BAKAR LNG PADA KAPAL- KAPAL YANG BEROPERASI DI JALUR APBS DENGAN PEMODELAN DINAMIKA SISTEM

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Bidang Studi
Reliability, Availability, Maintainability, and Safety (RAMS)
Program Studi Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ARIAN PUJI FAJARDIANTO.

NRP 4212 100 058

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badruz Zaman, ST., MT.

NIP. 1977 0802 2008 01 1007

ABSTRAK

ANALISA PENGARUH EMISI GAS BUANG DALAM PENGUNAAN BAHAN BAKAR LNG PADA KAPAL- KAPAL YANG BEROPERASI DI JALUR APBS DENGAN PEMODELAN DINAMIKA SISTEM

Nama Mahasiswa : Arian Puji Fajardianto.
NRP : 4212100058
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : DR. Dhimas Widhi H., ST., M.Sc
A.A.B Dinariyana D.P, ST., MES, Ph.D

Abstrak

Indonesia sebagai negara maritim yang berada di kawasan *Emisiion Control Area (ECA)* / Daerah pengendalian udara harus memperhatikan laju pertumbuhan kapal agar polusi udara yang dihasilkan berada di aturan yang ada. Alur Pelayaran Barat Surabaya menjadi salah satu daerah transportasi laut terbesar di Indonesia sehingga menyebabkan jumlah polusi udara tinggi. Laju pertumbuhan Kapal yang akan dibangun untuk daerah ini tentunya harus menjadi perhatian khusus agar tidak menimbulkan polusi yang melebihi aturan yang ada. Emisi gas buang yang dihasilkan mesin kapal mengandung Karbon monoksida (CO), Sulfur Oksida (SO_x) dan Nitrogen Oksida (NO_x), dalam jumlah tertentu dapat membahayakan lingkungan sekitar, termasuk mengakibatkan kematian pada manusia. Sehingga diperlukan skenario agar pertumbuhan kapal yang ada tidak menyebabkan bertambahnya polusi udara yang mengakibatkan pencemaran dan kematian. Pada penelitian ini data Kesyabandaran dan Otoritas Pelabuhan (KSOP) digunakan untuk mengetahui estimasi emisi yang dihasilkan oleh populasi kapal menggunakan metodologi Trozzy et al. Dari pemodelan menggunakan Dinamika Sistem

menghasilkan pemodelan untuk sepuluh tahun ke depan dengan menggunakan 20 % dari populasi kapal tersebut yang diganti menggunakan LNG sebagai bahan bakar. Konsentrasi yang dihasilkan oleh populasi kapal pada sepuluh tahun yang akan datang dengan laju pertumbuhan kapal menghasilkan emisi PM 59.09 kg/h dengan konsentrasi $48.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SOx terkandung sebesar 29,546 kg/h dengan konsentrasi $66.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$, CO sebesar 9.356,19 kg/h dengan konsentrasi $7628.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NOx sebesar 11,325.91 dengan konsentrasi $25.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kata Kunci : APBS, ECA, Trozzy Methodology, NOx,SOx,CO, Pm, Pemodelan, Dinamika Sistem

ABSTRACT

EMISSION ANALYSIS ON LNG-FUELED SHIPS OPERATING IN APBS (SURABAYA WEST ACCESS CHANNEL) USING SYSTEM DYNAMICS

Nama Mahasiswa : Arian Puji Fajardianto.
NRP : 4212100058
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : DR. Dhimas Widhi H., ST., M.Sc
A.A.B Dinariyana D.P, ST., MES, Ph.D

Abstract

Indonesia as a maritime country that includes in Emission Control Area (ECA) / Regional air control should pay attention to the growth rate of the vessel so that the air pollution produced is under controlled by the rule. West Surabaya Sailing Route become one of the largest marine transportation in Indonesia so that led to the number of high air pollution. The growth rate of ship to be built for this area certainly should be a special attention in order to cause no pollution which exceeds the existing rules. Exhaust emissions produced by ship engines contain carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO_x) and nitrogen oxides (NO_x), a certain amount can be harmful for the environment, including lead to death in humans. So it is necessary that the growth scenario existing ships do not cause air pollution are causing pollution and death. In this study, the data Kesyabandaran and Port Authority (KSOP) is used to determine the estimation of the emissions of ships population using Trozzy methodology et al. The modeling using system dynamics modeling to produce the next ten years by using 20% of the population of the vessel is changed using LNG as fuel. Concentration produced by a population of ten vessels in coming years with the growth rate of ship emissions PM 59.09 kg

/h with a concentration of 48.18 ug / m³, SO_x contained amounting to 29.546 kg / h with a concentration of 66.92 ug / m³, CO of 9,356, 19 kg / h with a concentration of 7628.99 g / m³, NO_x concentration at 11,325.91 with 25.65 ug / m³.

Keywords: budgets, ECA, Trozzy Methodology, NO_x, SO_x, CO, Pm, Modeling, Dynamics System

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Lokasi Penelitian	5
1.3 Perumusan Masalah.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	6
1.6 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Polusi Udara	7
2.2. Sumber Polusi.....	9
2.2.1. Sumber Polusi Udara Tetap	10
2.2.2. Sumber Polusi Udara Bergerak.....	11
2.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Emisi	12
2.3.1. Curah Hujan.....	12
2.3.2. Stabilitas Atmosfer.....	13
2.3.3. Topografi	14
2.3.4. Kecepatan Arah Angin dan Arahnya	15
2.4. Macam-macam Emisi	16
2.4.1. Nitrogen Oksida	16
2.4.2. Sulfur Oksida	19

2.4.3. Karbon Monoksida.....	22
2.4.4. Senyawa Organik	23
2.4.5. Particulate Matter	23
2.4.6. Karbondioksida	24
2.5. LNG	26
2.6. Perhitungan Estimasi Emisi	30
2.6.1 Perhitungann Estimasi Konsumsi Bahan Bakar Permesianan Utama.....	31
2.6.3 Perhitungan Estimasi Bahan Bakar Gas dan Minyak...	31
2.7. Konsep Dinamika Sistem	34
2.7.1 Pengertian Dinamika Sistem	35
2.7.2 Langkah-Langkah Pemodelan Dinamika Sistem	37
2.7.3 Kelebihan dan Kekurangan Dinamika Sistem	39
2.7. 4 Verifikasi dan Validasi.....	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	43
3.1. Perumusan Masalah	43
3.2. Penetapan Tujuan.....	43
3.3 Studi Pustaka	43
3.4 Pengumpulan Data.....	44
3.5 Penghitungan Estimasi.....	44
3.6 Pemodelan Dinamika Sistem	44
3.7 Validasi Model	45
3.8 Kesimpulan dan Saran	45
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Analisa Data KSOP	49
4.1.1. Analisa Densitas Traffic di ASDP dari data KSOP selama Satu Tahun	49
4.1.2. Analisa Densitas Traffic Bulan Novemmber 2015	50
4.2 Penghitungan Estimasi Bahan Bakar pada Kondisi Awal.	50
4.2.1 Penghitungan Konsumen Bahan Bakar Minyak	51
4.2.2 Penghitungan Emisi Bahan Bakar Minyak	53
4.2.3 Analisa Hasil Penghitungan Emisi pada Keadaan awal ..	54

4.3. Penghitungan Estimasi Bahan Bakar pada Kondisi Skenario 1	59
4.3.1 Penghitungan Estimasi Dual Fuel	59
4.3.2 Penghitungan Emisi Bahan Bakar Minyak	60
4.3.3 Penghitungan Emisi Bahan Bakar	62
4.3.4 Analisa Hasil Penghitungan Emisi pada Keadaan awal	63
4.4 Penghitungan Estimasi Bahan Bakar pada Kondisi Skenario 2	68
4.4.1 Penghitungan Estimasi Dual Fuel	68
4.4.2 Penghitungan Emisi Bahan Bakar Minyak	69
4.4.3 Penghitungan Emisi Bahan bakar Minyak dan Gas	71
4.4.4 Analisa Hasil Penghitungan Emisi pada Skenario Kedua	72
4.5 Analisa Perbandingan Kondisi awal dan Skenario	77
4.6 Validasi Pemodelan	80
BAB V	83
4.1. Kesimpulan	83
5.2 Saran	84
Daftar Pustaka	85
LAMPIRAN A	88
LAMPIRAN B	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Peta Daerah Pengendalian Emisi	2
Gambar 2. 1. Contoh Sumber Polusi Udara Tetap	11
Gambar 2. 2. Hubungan Hidrokarbon dengan air fuel ratio.	12
Gambar 2. 3. Dampak dari Hujan Asam	21
Gambar 3. 1. Grafik Alur Pengerjaan Tugas Akhir.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Bentuk molekul dari Nitrogen Oksida.....	18
Tabel 2. 2. Pengaruh Konsentrasi SO ₂ terhadap Kesehatan	20
Tabel 2. 3. Penghitungan Estimasi Konsumsi Bahan Bakar	30
Tabel 4. 1. Estimasi Konsumsi bahan Bakar dengan pendekatan GT.....	51
Tabel 4. 2. Hasil Pemodelan Penghitungan Emisi yang dihasilkan oleh Kapal untuk 10 tahun ke depan	56
Tabel 4. 3. Konsentrasi Emisi Gas Buang pada Kondisi Awal ...	57
Tabel 4. 4. Kesesuaian Kondisi dengan Peraturan Menteri No. 12 Tahun 2010.....	58
Tabel 4. 5 Hasil Pemodelan Emisi Gas Buang Skenario Pertama	65
Tabel 4. 6. Konsentrasi Emisi gas Buang Hasil Pemodelan Skenario 1.....	66
Tabel 4. 7. Kondisi yang Tidak sesuai dengan Peraturan Menteri nomer 12 tahun 2010.....	67
Tabel 4. 8. Hasil Pemodelan Penghitungan emisi Skenario kedua	74
Tabel 4. 9. Konsentrasi Emisi Gas Buang pada Kondisi Skenario kedua	75
Tabel 4. 10. Kesesuaian Pemodelan Skenario Kedua dengan Peraturan Menteri Nomer 12 tahun 2010	76

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanasan Global adalah meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi akibat peningkatan jumlah emisi Gas Rumah Kaca di atmosfer. Pemanasan Global akan diikuti dengan Perubahan Iklim, seperti meningkatnya curah hujan di beberapa belahan dunia sehingga menimbulkan banjir dan erosi. Sedangkan, di belahan bumi lain akan mengalami musim kering yang berkepanjangan disebabkan kenaikan suhu.

Proses peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan bumi. Suhu rata-rata global pada permukaan bumi telah meningkat $0.74 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ ($1.33 \pm 0.32^{\circ}\text{F}$) selama seratus tahun terakhir. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) menyimpulkan bahwa, sebagian besar peningkatan temperatur rata-rata global sejak pertengahan abad ke-20 kemungkinan besar disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca akibat aktivitas manusia melalui efek rumah kaca. Meningkatnya suhu global diperkirakan akan menyebabkan perubahan-perubahan yang lain seperti naiknya permukaan air laut, meningkatnya intensitas fenomena cuaca yang ekstrim, serta perubahan jumlah dan pola presipitasi (turunnya air dari atmosfer, misal hujan, salju). Akibat-akibat pemanasan global yang lain adalah terpengaruhnya hasil pertanian, hilangnya gletser, dan punahnya berbagai jenis hewan.

Kebijakan- kebijakan pemerintah dalam mendukung Indonesia sebagai Poros Maritim diwujudkan satu usaha pemerintah untuk meningkatkan perekonomian di Indonesia untuk memberikan hak eksklusif kepada perusahaan pelayaran nasional untuk melakukan kegiatan pelayaran di wilayah perairan Indonesia. Terbukti dengan adanya kebijakan tersebut jumlah kapal di Indonesia meningkat cukup signifikan dimana jumlah

sebelumnya pada bulan maret 2005 jumlah kapal di Indonesia hanya 6.041 unit, kemudian mengalami peningkatan pada bulan Desember 2013 menjadi 13.120 unit kapal. Jumlah peningkatan kapal mencapai 117% dalam waktu sembilan tahun. Permintaan akan galangan kapal sebagai industri pembuatan perkapalan maupun sebagai bengkel reparasi atau tempat perbaikan kapal ditentukan oleh permintaan kapal baru dan besarnya intensitas lalu lintas pelayaran di Indonesia.



Gambar 1. 1. Peta Daerah Pengendalian Emisi

Dari gambar 1.1 dapat diketahui bahwa Indonesia sebagai negara kepulauan masuk pada daerah *Emission Control Areas* atau daerah Pengendalian Emisi. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai negara yang harus memperhatikan konsisi emisi yang dihasilkan oleh berbagai kegiatan, termasuk kapal.

Emisi gas buang dari mesin kapal telah di ketahui dapat menyebabkan masalah kesehatan dan lingkungan. Nitrogen

oksida (NO_x), karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan sulfur oksida (SO_x) adalah beberapa macam polusi udara yang terdapat pada emisi gas buang dari kapal. Dampaknya bagi kesehatan manusia, substansi pencemar yang terdapat di udara dapat masuk ke dalam tubuh melalui sistem pernafasan. Jauhnya penetrasi zat pencemar ke dalam tubuh bergantung kepada jenis pencemar. Partikulat berukuran besar dapat tertahan di saluran pernapasan bagian atas, sedangkan partikulat berukuran kecil dan gas dapat mencapai paru-paru. Dari paru-paru, zat pencemar diserap oleh sistem peredaran darah dan menyebar ke seluruh tubuh. Dampak kesehatan yang paling umum dijumpai adalah ISPA (infeksi saluran pernapasan akut), termasuk di antaranya, asma, bronchitis, dan gangguan pernapasan lainnya. Beberapa zat pencemar dikategorikan sebagai toksik dan karsinogenik.

Bagi lingkungan dampaknya yaitu tanaman yang tumbuh di daerah dengan tingkat pencemaran udara tinggi dapat terganggu pertumbuhannya dan rawan penyakit, antara lain klorosis, nekrosis, dan bintik hitam. Partikulat yang terdeposisi di permukaan tanaman dapat menghambat proses fotosintesis. Pencemar udara seperti SO₂ dan NO₂ bereaksi dengan air hujan membentuk asam dan menurunkan pH air hujan. Dampak dari hujan asam ini antara lain mempengaruhi kualitas air permukaan, merusak tanaman, melarutkan logam-logam berat yang terdapat dalam tanah sehingga mempengaruhi kualitas air tanah dan air permukaan, dan bersifat korosif sehingga merusak material dan bangunan. Selat Madura merupakan salah satu jalur pelayaran yang terpadat di Indonesia, tidak hanya pelayaran domestik tetapi juga internasional yang berpusat di Pelabuhan Tanjung Perak.

Hal yang perlu diperhatikan oleh pemilik kapal seiring bertambahnya jumlah kapal di Indonesia adalah bertambahnya kadar emisi gas buang di udara. *The International Convention for the Prevention of Pollution (iMARPOL yang diadopsi dari IMO*

tahun 1973 dan menghasilkan MARPOL Annex VI menjelaskan batas maksimum kadar Sox dan NOx pada *emission control areas* (ECAs) Emisi gas buang dari mesin kapal telah diketahui dapat menyebabkan masalah kesehatan dan lingkungan. Nitrogen oksida (NOx), karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan sulfur oksida (SOx) adalah beberapa macam polusi udara yang terdapat pada emisi gas buang dari transportasi laut.

Komponen pencemar udara yang paling berpengaruh adalah Karbon Monoksida(CO), Nitrogen Oksida(NOx), Sulfur Oksida(SOx), Hidrokarbon(HC) dan Partikulat(PM). Emisi NOx, SOx dan Partikulat merupakan emisi utama dari mesin diesel kapal. Agar mesin diesel yang dipergunakan di kapal tidak melakukan pencemaran udara sehingga tidak mengganggu kesehatan manusia dan tidak merusak lingkungan sekitar maka perlu dilakukan suatu penelitian tentang bagaimana cara menurunkan emisi gas buang dengan pemilihan teknologi dan metode apa yang tepat dalam mengatasi pencemaran udara akibat emisi yang dikeluarkan oleh mesin diesel kapal.

Mesin diesel kapal adalah suatu mesin yang terbukti handal dan efisien bahan bakar. Namun salah satu kekurangan/kelemahan mesin diesel adalah adanya emisi pada gas buang yang berupa NOx, SOx, CO dan Partikulat yang semuanya membahayakan kesehatan dan merusak kualitas udara, hujan asam (HNO_3 dan H_2SO_4) yang dapat mengakibatkan kanker juga gas CO yang dapat mematikan apabila kita menghirupnya secara langsung, bertambahnya suhu bumi akibat pertambahan CO_2 atau Global Warming. Buruknya kondisi kualitas udara akibat gas buang yang dikeluarkan mesin diesel kapal mengakibatkan International Maritime Organization (IMO) mengatur standar minimum emisi NOx dan SOx dalam ANNEX VI regulasi 13 dan 14.

Telah banyak penelitian untuk memberikan alternatif untuk mengatasi regulasi tersebut kepada pemilik kapal, salah satunya dengan mengganti bahan bakar pada kapal dengan menggunakan bahan bakar LNG. Dengan menggunakan pendekatan dinamika sistem digunakan untuk melakukan pemodelan emisi yang dihasilkan oleh gas buang kapal. Keunggulan dinamika sistem ini adalah dapat diterapkan pada banyak kasus, tidak hanya terbatas pada kasus yang bersifat teknik saja tetapi juga bersifat sosial ataupun yang lainnya

1.2 Lokasi Penelitian

Pengerjaan tugas akhir ini fokus pada daerah Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) . Daerah tersebut merupakan bagian dari daerah terbesar kedua dalam hal transportasi laut di Indonesia. Selain kapal domestik, juga terdapat kapal berbendera asing yang transit. Hal ini yang menyebabkan masalah terhadap makhluk hidup dan lingkungan sekitar

1.3 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam pengambilan tugas akhir ini telah ditetapkan sebagai berikut

1. Berapa besar Emisi yang dihasilkan oleh bahan bakar gas dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar minyak?
2. Bagaimana pengaruh–pengaruh konversi bahan bakar LNG pada kapal-kapal yang beroperasi di jalur APBS pada emisi gas buang yang ditimbulkan dengan pemodelan dinamika sistem?

1.4 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan skripsi ini terdapat batasan penelitian yang digunakan, yaitu :

1. Analisa dilakukan pada bulan yang memiliki kepadatan tertinggi dalam satu tahu (2015)

2. Analisa dilakukan pada rentang hari yang memiliki transportasi angkutan terpadat di satu bulan pada tahun tersebut.
3. Analisa emisi gas buang pada angkutan dalam negeri di APBS
4. Analisa dilakukan pada kapal yang tercatat pada data KSOP.

1.5 Tujuan Penelitian

Pengerjaan tugas akhir ini memiliki tujuan di antara lain adalah :

1. Membandingkan emisi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar minyak dan bahan bakar gas
2. Memodelkan pengaruh emisi dari gas buang dalam penggunaan bahan bakar LNG pada kapal-kapal yang beroperasi di jalur APBS dengan pemodelan dinamika sistem

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat membawa manfaat bagi berbagai pihak yang membutuhkan dari penelitian ini. Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah

1. Dapat Membandingkan emisi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar minyak dan bahan bakar gas
2. Dapat memodelkan pengaruh emisi dari gas buang dalam penggunaan bahan bakar LNG pada kapal-kapal yang beroperasi di jalur APBS dengan pemodelan dinamika sistem
3. Dapat menjadi bahan rujukan bagi instansi pemerintahan untuk menentukan keputusan yang berkaitan dengan pengaturan pencemaran udara di selat Madura dan sekitarnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Polusi Udara

Polusi udara adalah kehadiran satu atau lebih substansi fisik, kimia, atau biologi di atmosfer dalam jumlah yang dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan, mengganggu estetika dan kenyamanan, atau merusak properti. Atau dalam kata lain dapat diartikan sebagai perusakan terhadap udara karena disebabkan oleh berbagai sumber yang dapat merusak bagi kesehatan makhluk hidup maupun benda mati.

Polusi udara dapat bersumber dari berbagai macam, antara lain : asap kendaraan bermotor, asap pabrik, limbah industri, limbah rumah tangga dan lain -lain. Polusi udara pada saat ini sudah mencapai tingkat mengkhawatirkan, karena didukung oleh perkembangan dunia industri, banyaknya manusia yang tinggal di dunia ini dapat menjadikan polusi udara semakin meningkat. Terlebih - lebih di Indonesia, pencemaran udara di Indonesia sudah sangat mengkhawatirkan, pencemaran asap kendaraan bermotor menjadi sumber yang paling utama pencemaran udara di Indonesia, jumlah kendaraan bermotor yang tidak seimbang dengan jumlah pepohonan yang ada di Indonesia menjadi salah satu penghambat terjadinya pertukaran udara di Indonesia, sifat konsumtif masyarakat Indonesia menjadikan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia menjadi banyak dan dapat dipastikan menjadikan hal tersebut sangat berpengaruh terhadap tingginya pencemaran udara di Indonesia. Illegal logging menjadi salah satu hal yang sangat berpengaruh terhadap pencemaran udara di Indonesia, kasus illegal logging

yang meningkat dan juga kurangnya lahan diperkotaan menjadi sumber utama masalah udara di Indonesia.

Efek dari pencemaran udara juga sudah dapat dirasakan pada saat ini, banyaknya penyakit yang bersumber dari udara, peningkatan jumlah pengidap ispa dan juga bertambahnya jumlah orang yang tua sebelum waktunya menjadi efek negatif dari pencemaran udara.

Polusi Udara berdasarkan *Environmntal Quality Act* (EQA) 1974 memberikan dfinisi polusi udara sebagai setiap prubahan langsung atau tidak langsung dari fisik , termal, sifat kimia atau biologis dari setiap bagian dari lingkungan dngan pmakaian, mmncarkan, atau menyimpan zat berbahaya, polutan atau limbah, sehingga akan mempengaruhi penggunaan yang menguntungkan menjadi merugikan, menyebabkan suatu kondisi yang berbahaya atau berpotensi berbahaya untuk hewan, kesehatan umum, atau kesejahteraan umum, satwa liar atau kehidupan air atau tanaman atau kepada penyebab pelanggaran lainnya yang berakibat buruk pada lingkungan dan tidak ada izin dari pemerintah setempat.

Sedangkan berdasarkan pendapat Perkin, (1974 dalam dean bersama “ *Air Pollution And Its Control*” mendefinisikan polusi udara sebagai setiap kehadiran dari satu atau lebih contaminant di atmosfer, seperti debu, asap gas, kabut, bau , asap atau uap dalam jumlah, karakteristik, dan durasi seperti yang akan merugikan bagi kehidupan manusia, tanaman atau hewan atau harta beda, atau yang secara tidak wajar mengganggu kelayakan hidup dan property. Pendapat ini juga dianut oleh beberapa ilmuwan lainnya dalam memberikan definisi polusi udara sebagai tambahan dari setiap zat-zat kontaminant terhadap lingkungan dan cenderung merugikan manusia, tanaman, dan hewan

Pendapat lainnya disampaikan oleh Seinfeld (1975) mengungkapkan bahwa polusi udara setiap kondisi atmosfer di mana zat yang hadir pada konsentrasi tinggi dan di atas tingkat normal ambient untuk produk efek yang dapat diukur pada manusia, hewan, vegetasi atau bahan. Dia juga memiliki gagasan tentang elemen-elemen dari masalah polusi udara untuk udara tertentu.

Jenis-jenis polusi udara dijelaskan bahwa ada dua jenis polusi udara, polusi udara yang alami dan polusi udara antropogenik. Definisi dari polusi udara antropogenik adalah polusi yang disebabkan oleh manusia sedangkan polusi alami didefinisikan sebagai hasil dari proses alami yang memancarkan polutan ke atmosfer. Biasanya, polusi udara antropogenik lebih berbahaya dibandingkan dengan polusi udara alami, namun polusi alami dapat sangat berbahaya jika dihasilkan dalam jumlah yang besar dan berada dekat di pemukiman manusia.

Polutan dapat didefinisikan sebagai setiap zat dengan konsentrasi tinggi di udara dan mempengaruhi perilaku alam (Vesilind, et al., 1985). Polutan yang biasanya mempengaruhi ekosistem kita adalah nitrogen dioksida (NO_2), sulfur dioksida (SO_2), karbon monoksida (CO_2).

2.2. Sumber Polusi

Polusi di lingkungan dihasilkan oleh dua sumber yaitu perilaku alami dari bumi dan yang dibuat oleh manusia. Meteorology dan degradasi adalah contoh dari proses alami yang dibuat manusia. Meteorology dan degradasi merupakan contoh alami yang memancarkan polutan ke atmosfer dan menyebar ke tempat lain dengan mekanisme transportasi seperti angin. Pada kondisi yang sangat tinggi hutan dapat

terbakar tanpa ada campur tangan manusia dan situasi yang seperti ini akan dapat memancarkan gas dan materi berbahaya ke udara.

Fenomena lain yang menghasilkan konsentrasi yang sangat tinggi adalah letusan gunung berapi (Imamura, et al, 2005). Meskipun emisi dari situasi ini sangat namun kejadian dari fenomena ini juga jarang terjadi. Kejadian belum tentu terjadi setiap 10 tahun sekali. Polutan yang berasal dari kegiatan manusia seperti kendaraan bermotor, emisi dari pabrik industry, boiler, insenerator dan lain-lain juga bisa mencemari lingkungan secara perlahan sampai pada tingkat yang berbahaya jika tidak ada tindakan dari pemerintah (Seinfeld, 1971).

Di Indonesia sekarang ini kurang lebih 70% pencemaran udara disebabkan emisi kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor mengeluarkan zat-zat berbahaya yang dapat menimbulkan dampak negative, baik terhadap kesehatan manusia maupun terhadap lingkungan, seperti timbal/ timah hitam (Pb). Kendaraan bermotor menyumbang hampir 100% timbal.

Selain itu pencemaran udara dapat menimbulkan hujan asam, pengikisan lapisan ozon, kerusakan padatan aman, pelapukan bangunan atau patung-patung yang terbuat dari batu serta dapat mempercepat empat kali lebih cepat proses pengkaratan pada benda-benda yang terbuat dari besi. Yang lebih mengerikan lagi adalah bahwa pencemaran udara ini dapat menyebabkan kerusakan lingkungan lebih jauh yaitu menimbulkan efek rumah kaca yang akan menaikkan suhu permukaan bumi atau dikenal dengan global warming. Hal ini akan menyebabkan kenaikan permukaan air laut karena es di kutub akan mencair. Global warming juga berdampak pada

perubahan iklim di bumi yang akan menimbulkan kekeringan dan banjir di seluruh dunia. Hal tersebut akan menyebabkan penyediaan pangan akan terganggu.

2.2.1. Sumber Polusi Udara Tetap

Sumber tetap adalah sumber emisi yang berada pada posisi tetap dari waktu ke waktu, contohnya adalah pada cerobong asap industri, misalnya emisi SO_2 dari cerobong PLTU



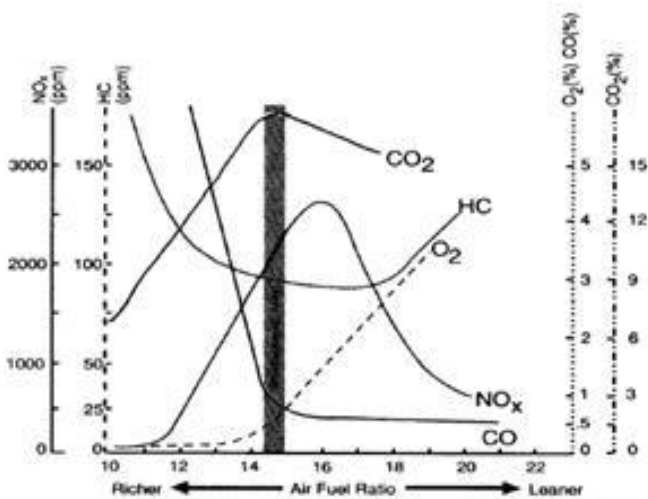
Gambar 2. 1. Contoh Sumber Polusi Udara Tetap

2.2.2. Sumber Polusi Udara Bergerak

Polusi yang dihasilkan dari kendaraan bermotor menjadi isu utama dalam hal emisi karena peningkatan jumlah kendaraan bermotor dan jam penggunaannya yang tinggi setiap tahunnya. Polusi yang terjadi oleh sumber bergerak

biasanya datang dari kendaraan karena perpindahan dari satu daerah ke daerah lain, dibantu oleh faktor lain seperti arah angin dan cuaca (Altwicker, 2000).

Penggunaan kendaraan bermotor menghasilkan polusi yang mengandung hidrokarbon dapat dilihat pada gambar 2.2 Hubungan Hidrokarbon dengan *air fuel ratio* yang ada di bawah ini. Gambar 2.2 Menunjukkan hubungan produk pembakaran dengan rasio udara bahan bakar, yang merupakan faktor paling penting dalam menentukan emisi karena pembakaran yang baik merupakan pembakaran yang pembentukan CO banyak.



Gambar 2. 2. Hubungan Hidrokarbon dengan air fuel ratio.

Sebagian besar kendaraan di dunia menggunakan mesin pembakaran dalam, pemakaian bensin atau solar, atau hidrokarbon gas untuk pasokan energy mereka. Polutan yang

berasal dari kendaraan tergantung pada faktor-faktor seperti rasio udara-bahan bakar, *ignition timing*, rasio kompresi, geometri ruang bakar, kecepatan, dan tipe bahan bakar

2.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Emisi

Dalam daerah yang berbeda kandungan polusi udara juga berbeda. Hal ini disebabkan oleh faktor-faktor diantaranya hujan, topografi, stabilitas atmosfer, hujan, kecepatan dan arah angin

2.3.1. Curah Hujan

Flang *et al* (1988), menyatakan bahwa hujan tidak terlalu efektif dalam membersihkan udara untuk partikel yang lebih kecil dari 2 μm . Namun jika hujan terus menerus 15 menit dengan kecepatan 1 mm/jam dapat menghapus polutan di udara sekitar 28 % untuk partikel yang lebih besar dari 10 μm .

Pembersih udara yang dapat membantu dalam menurunkan konsentrasi polutan dibagi menjadi dua jenis yaitu :

- i. Pembilasan di bawah awan, proses ini terjadi ketika hujan endapan ke bumi dan membawa polutan ke tanah. Oleh karena itu, polutan tidak lagi berada di atmosfer.
- ii. Pembilasan di dalam awan, dalam proses ini, denda partikel polutan di atmosfer akan bereaksi sebagai inti awan atau akan direduksi oleh partikel air.

2.3.2. Stabilitas Atmosfer

Stabilitas atmosfer memungkinkan untuk mengetahui kecenderungan gerakan vertikal dari suatu massa udara di atmosfer. Perbedaan-perbedaan yang kecil dalam gerakan vertikal tersebut penting untuk menerangkan atau meramalkan

pembentukan awan-awan konvektif, hujan ataupun wilayah daerah tekanan rendah. Udara yang tidak stabil memungkinkan terbentuknya awan khususnya awan yang mempunyai ukuran vertikal yang mencolok dan yang biasanya menimbulkan cuaca buruk. Sebaliknya dengan cuaca cerah, tanpa awan adalah sebagai akibat udara yang stabil.

Faktor utama stabilitas atmosfer adalah hubungan suhu dengan ketinggian. Tingkat di mana suhu bervariasi terhadap ketinggian disebut lajusurut itu. Lajusurut mempunyai pengaruh yang signifikan pada gerak vertikal udara. Mekanisme dimana udara dipindahkan secara vertikal terikat pada konsep lajusurut adiabatik.

Tingkat stabilitas paket di atmosfer dibedakan menjadi

1. Kondisi Netral, dimana lajusurut aktual dan lajusurut adiabatik kering sama, sehingga suatu parsel udara yang berpindah (baik ke atas maupun ke bawah) akan mempunyai suhu yang sama dengan udara sekitarnya, densitas menjadi sama, dan akan berada dalam keseimbangan.
2. Kondisi Tidak Stabil, dimana lajusurut aktual lebih besar dibanding lajusurut adiabatik yang kering. Ketika parsel ini naik, suhunya lebih besar dari udara sekitarnya, densitasnya menjadi lebih kecil dan akan tetap bergerak naik. Ketika parsel bergerak naik, perbedaan suhu bertambah dan mempercepat naiknya parsel udara.
3. Kondisi Stabil, dimana lajusurut aktual kurang dari lajusurut adiabatik kering. Ketika kenaikan parsel, suhunya kurang dari udara sekitar oleh karena itu densitasnya lebih besar dan parsel akan turun langsung di mana suhunya sama dengan udara sekitarnya.

Fenomena yang mudah mengenali stabilitas atmosfer adalah melihat pertumbuhan awan konvektif seperti Cumulonimbus (CB). Pembentukan awan ini diawali dari kondisi atmosfer yang tidak stabil akibat pemanasan dari bawah oleh radiasi matahari yang menaikkan temperatur tanah. Udara yang tidak stabil menimbulkan gangguan yang selanjutnya menyebabkan proses konvektif. Cuaca buruk akibat awan ini antara lain adalah terjadinya badai guntur dan kilat.

2.3.3. Topografi

Dalam menentukan dan mengendalikan tingkat polusi jenis dan kondisi wilayah tertentu merupakan faktor penting. Gunung, lembah, dan area *shore line* akan mempengaruhi arah angin dan besarnya, serta parameter meteorologi lainnya. Selama malam, tanah didinginkan oleh radiasi ke luar angkasa. Oleh karena itu, lapisan udara akan menjadi lebih padat daripada udara di atasnya. Untuk daerah datar yang sempurna, lapisan ini akan sempurna datar dan gravitasi tidak dapat memindahkannya. Namun, ketika tanah tidak datar, lapisan padat akan cenderung mengalir menuruni bukit. Selama siang hari, situasi sebaliknya terjadi, di mana tanah dipanaskan oleh matahari dan naik ke atmosfer dengan daya apung. Fenomena ini disebut panas kembali. Oleh karena itu, polutan akan tetap di daerah tersebut dan terjebak di sana.

2.3.4. Kecepatan Arah Angin dan Arahnya

Angin merupakan salah satu unsur meteorologi yang memiliki peranan penting dalam menentukan kondisi cuaca dan iklim di suatu tempat. Angin dapat dibatasi sebagai gerakan horizontal udara relatif terhadap permukaan bumi.

Batasan ini berasumsi bahwa seluruh gerakan udara secara vertical kecepatannya dapat diabaikan karena relative rendah yaitu $< 1 \text{ ms}^{-1}$ (June, 1993).

Untuk mendapatkan data pengukuran kecepatan angin yang akurat diperlukan suatu alat ukur yang dapat mencatat kecepatan maupun arah pergerakan angin secara akurat pula. Pengukuran kecepatan angin itu sendiri dapat dilakukan dengan beberapa metode, dimana setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Untuk itu dalam membuat suatu alat ukur kecepatan angin perlu dipertimbangkan untuk keperluan apa alat tersebut dibuat.

Angin dihasilkan karena adanya pergerakan udara dari satu daerah ke daerah lainnya sedangkan tekanan atmosfer di daerah satu dengan lainnya tidak setara. Angin adalah agen utama dalam mentransfer polutan dari satu daerah ke daerah lain. Pada kecepatan tinggi, dapat menurunkan konsentrasi polutan ke tempat lain rendah dan sebagai hasilnya, polutan akan terjebak di atmosfer tersebut (Altwicker, 2000)

2.4. Macam-macam Emisi

2.4.1. Nitrogen Oksida

Nitrogen oksida (NO_x) adalah senyawa gas yang terdapat di udara bebas (atmosfer) yang sebagian besar terdiri atas nitrit oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2) serta berbagai jenis oksida dalam jumlah yang lebih sedikit. Kedua macam gas tersebut mempunyai sifat yang sangat berbeda dan keduanya sangat berbahaya bagi kesehatan. Gas NO yang mencemari udara secara visual sulit diamati karena gas tersebut tidak bewarna dan tidak berbau. Sedangkan gas NO_2 bila mencemari udara mudah diamati dari baunya yang sangat

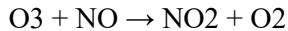
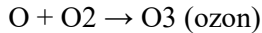
menyengat dan warnanya merah kecoklatan. Sifat Racun (toksisitas) gas NO_2 empat kali lebih kuat dari pada toksisitas gas NO . Organ tubuh yang paling peka terhadap pencemaran gas NO_2 adalah paru-paru. Paru-paru yang terkontaminasi oleh gas NO_2 akan membengkak sehingga penderita sulit bernafas yang dapat mengakibatkan kematiannya

Kadar NO_x di udara daerah perkotaan yang berpenduduk padat akan lebih tinggi dibandingkan di pedesaan karena berbagai macam kegiatan manusia akan menunjang pembentukan NO_x , misalnya transportasi, generator pembangkit listrik, pembuangan sampah, dan lain-lain. Namun, pencemar utama NO_x berasal dari gas buangan hasil pembakaran bahan bakar gas alam .

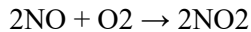
Udara yang mengandung gas NO dalam batas normal relatif aman dan tidak berbahaya, kecuali bila gas NO yang tinggi dapat menyebabkan gangguan pada sistem saraf yang menyebabkan kejang-kejang. Bila keracunan ini terus berlanjut akan dapat menyebabkan kelumpuhan. Gas NO akan menjadi lebih berbahaya apabila gas itu teroksidasi oleh oksigen sehingga menjadi gas NO_2 . Di udara nitrogen monoksida (NO) teroksidasi sangat cepat membentuk nitrogen dioksida (NO_2) yang pada akhirnya nitrogen dioksida (NO_2) teroksidasi secara fotokimia menjadi nitrat.

Dalam kimia atmosfer, polusi udara, dan bidang terkait, nitrogen oksida mengacu khusus untuk NO_x (NO dan NO_2). Hanya beberapa dari senyawa ini yang dapat diisolasi pada suhu kamar. N_2O_3 , N_2O_4 , dan N_2O_5 semua terurai dengan cepat pada suhu kamar. NO_3 , N_4O , dan $\text{N}(\text{NO}_2)_3$ sangat reaktif. N_2O stabil dan agak reaktif pada suhu kamar, sementara NO dan NO_2 cukup reaktif tapi tetap cukup stabil ketika terisolasi.

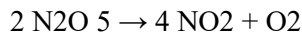
Keberadaan NO_x di udara dapat dipengaruhi oleh sinar matahari yang mengikuti daur reaksi fotolitik NO₂ sebagai berikut :



Gas Nitrogen dioksida dengan rumus molekul NO₂ merupakan gas berwarna coklat kemerahan berbau tajam menyengat dan sangat beracun. Memiliki Massa Rumus 46,0055, massa jenis 0,0034 gr/ml, Volume Molar 22,393 liter. Nitrogen dioksida biasanya terbentuk melalui oksidasi oleh oksigen di udara:



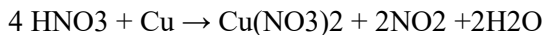
Di laboratorium, NO₂ dapat dibuat dengan cara pentoksida dinitrogen, yang diperoleh melalui dehidrasi asam nitrat:



Dekomposisi termal logam beberapa nitrat juga mampu menghasilkan gas NO



Reduksi asam nitrat oleh logam (seperti tembaga).



Sumber utama NO₂ pada atmosfer adalah dari kendaraan di jalan lalu lintas. Sumber utama lainnya adalah dari pembangkit tenaga listrik, pabrik pemanas, dan proses industri. Oksida Nitrogen (NO_x) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂). Walaupun ada bentuk oksida nitrogen lainnya, tetapi kedua gas tersebut yang paling banyak diketahui sebagai bahan pencemar udara.

Nitrogen monoksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau sebaliknya nitrogen dioksida berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Nitrogen monoksida terdapat diudara dalam jumlah lebih besar daripada NO₂. Pembentukan NO dan NO₂ merupakan reaksi antara nitrogen dan oksigen diudara sehingga membentuk NO, yang bereaksi lebih lanjut dengan lebih banyak oksigen membentuk NO₂.

Rumus Molekul	Nama Kimia	Sifat-Sifat
N ₂ O	Dinitrogen Oksida	Tidak berwarna, bau, dan merangsang saraf tertawa (gas gelak)
NO	Nitrogen Monoksida	Tidak berwarna, stabil, tidak bereaksi dengan air
N ₂ O ₃	Dinitrogen Trioksida	Cairan berwarna biru, beracun, dan larut air
NO ₂	Nitrogen Dioksida	Gas kuning-cokelat, beracun
N ₂ O ₄	Dinitrogen Tetraoksida	Tidak berwarna, beracun, korosif
N ₂ O ₅	Dinitrogen Pentaoksida	Tidak Berwarna, berbentuk padat, mudah menyublim

Tabel 2. 1. Bentuk molekul dari Nitrogen Oksida

Untuk menentukan konsentrasi gas NO_x di udara telah di lakukan dengan menggunakan peralatan spektroskopi analitik yang bekerja berdasarkan serapan inframerah, spektroskopi resonansi ion, kromatografi gas spektroskopi massa. Spektroskopi analitik yang bekerja berdasarkan serapan inframerah peralatan tersebut sangat mahal, tidak

dapat digunakan langsung dilapangan, dan diperlukan waktu yang lama untuk mengetahui konsentrasi gas NOx. Spektroskopi resonansi ion telah digunakan namun tidak akurat dalam analisis kuantitatif, kromatografi gas spektroskopi massa juga digunakan untuk mendeteksi gas NOx di udara namun hanya dapat digunakan pada temperatur yang rendah. Metode lain yang dapat digunakan untuk mendeteksi NOx di udara adalah dengan elektro analisis dengan mengembangkan sensor semikonduktor metode yang merupakan alternatif metode yang efektif dan efisien.

2.4.2. Sulfur Oksida

Sulfur dioksida adalah salah satu spesies dari gas-gas oksida sulfur (SOx). Gas ini sangat mudah terlarut dalam air, memiliki bau namun tidak berwarna. Sebagaimana O₃, pencemar sekunder yang terbentuk dari SO₂, seperti partikel sulfat, dapat berpindah dan terdeposisi jauh dari sumbernya.

SO₂ dan gas-gas oksida sulfur lainnya terbentuk saat terjadi pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung sulfur. Sulfur sendiri terdapat dalam hampir semua material mentah yang belum diolah seperti minyak mentah, batu bara, dan bijih-bijih yang mengandung metal seperti aluminium, tembaga, seng, timbal dan besi. Di daerah perkotaan, yang menjadi sumber sulfur utama adalah kegiatan pemangkit tenaga listrik, terutama yang menggunakan batu bara ataupun minyak diesel sebagai bahan bakarnya, juga gas buang dari kendaraan yang menggunakan diesel dan industri-industri yang menggunakan bahan bakar batu bara dan minyak mentah.

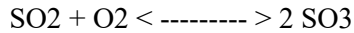
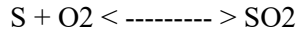
No	Konsentrasi (ppm)	Efek
1	3-5	Jumlah terkecil yang dapat dideteksi dari baunya
2	8-12	Jumlah terkecil yang akan segera mengakibatkan iritasi tenggorokan
3	20	Jumlah terkecil yang akan mengakibatkan iritasi mata dan batuk Jumlah Maksimum yang diperbolehkan untuk konsentrasi dalam waktu lama
4	50-100	Maksimum yang diperbolehkan untuk kontak singkat (30 menit)
5	400-500	Berbahaya meskipun kontak singkat

Tabel 2. 2. Pengaruh Konsentrasi SO₂ terhadap Kesehatan

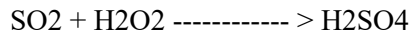
Pencemaran oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen sulfur bentuk gas yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida (SO₂) dan Sulfur trioksida (SO₃), dan keduanya disebut sulfur oksida (SO_x). Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak mudah terbakar diudara, sedangkan sulfur trioksida merupakan komponen yang tidak reaktif.

Pembakaran bahan-bahan yang mengandung Sulfur akan menghasilkan kedua bentuk sulfur oksida, tetapi jumlah relative masing-masing tidak dipengaruhi oleh jumlah oksigen yang tersedia. Di udara SO₂ selalu terbentuk dalam jumlah besar. Jumlah SO₃ yang terbentuk bervariasi dari 1 sampai 10% dari total SO_x.

Mekanisme pembentukan SO_x dapat dituliskan dalam dua tahap reaksi sebagai berikut :



SO₃ di udara dalam bentuk gas hanya mungkin ada jika konsentrasi uap air sangat rendah. Jika konsentrasi uap air sangatrendah. Jika uap air terdapat dalam jumlah cukup, SO₃ dan uap air akan segera bergabung membentuk droplet asam sulfat (H₂SO₄) dengan reaksi sebagai berikut :



Komponen yang normal terdapat di udara bukan SO₃ melainkan H₂SO₄. Tetapi jumlah H₂SO₄ di atmosfir lebih banyak dari pada yang dihasilkan dari emisi SO₃ hal ini menunjukkan bahwa produksi H₂SO₄ juga berasal dari mekanisme lainnya..



Gambar 2. 3. Dampak dari Hujan Asam

Setelah berada di atmosfer sebagai SO_2 akan diubah menjadi SO_3 (kemudian menjadi H_2SO_4) oleh proses-proses fotolitik dan katalitik. Jumlah SO_2 yang teroksidasi menjadi SO_3 dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk jumlah air yang tersedia, intensitas, waktu, dan distribusi spektrum sinar matahari, jumlah bahan katalik, bahan sorptif, dan alkalin yang tersedia. Pada malam hari atau kondisi lembab atau selama hujan SO_2 di udara diabsorpsi oleh droplet air alkalin dan bereaksi pada kecepatan tertentu untuk membentuk sulfat di dalam droplet.

2.4.3. Karbon Monoksida

Asap kendaraan merupakan sumber utama bagi karbon monoksida di berbagai perkotaan. Data mengungkapkan bahwa 60% pencemaran udara di Jakarta disebabkan karena benda bergerak atau transportasi umum yang berbahan bakar solar terutama berasal dari Angkutan Umum . Formasi CO merupakan fungsi dari rasio kebutuhan udara dan bahan bakar dalam proses pembakaran di dalam ruang bakar mesin diesel. Percampuran yang baik antara udara dan bahan bakar terutama yang terjadi pada mesin-mesin yang menggunakan Turbocharge merupakan salah satu strategi untuk meminimalkan emisi CO. Karbon monoksida yang meningkat diberbagai perkotaan dapat mengakibatkan turunnya berat janin dan meningkatkan jumlah kematian bayi serta kerusakan otak. Karena itu strategi penurunan kadar karbon monoksida akan tergantung pada pengendalian emisi seperti penggunaan bahan katalis yang mengubah bahan karbon monoksida menjadi karbon dioksida dan penggunaan bahan bakar terbarukan yang rendah polusi bagi kendaraan bermotor.

Karbon monoksida adalah gas yang bersifat membunuh makhluk hidup termasuk manusia. Zat gas CO ini akan mengganggu pengikatan oksigen pada darah karena CO lebih mudah terikat oleh darah dibandingkan dengan oksigen dan gas-gas lainnya. Pada kasus darah yang tercemar karbon monoksida dalam kadar 70% hingga 80% dapat menyebabkan kematian.

2.4.4. Senyawa Organik

VOC (*Volatile Organic Compound*) adalah bahan/ senyawa organik yang mudah menguap yang dihasilkan berupa gas dari beberapa bahan padat atau cair. Bahan organik

ini meliputi bermacam – macam bahan kimia yang mana dapat mempengaruhi kesehatan dalam jangka waktu panjang maupun pendek.

Karena sifat VOC ini mudah menguap diudara, maka bagi anda yang dalam aktivitas kesehariannya berhubungan dengan zat – zat kimia yang mengandung VOC harus extra berhati – hati. Misal anda bekerja di Industri Manufacture/ industry cat maka alat pelindung diri (APD) harus selalu dikenakan dengan baik.

Kadar jumlah VOC lebih banyak didalam ruangan daripada diluar ruangan. VOC ini menyebar melalui banyak produk – produk seperti cat, varnish, bahan – bahan pembersih, pestisida, material bahan bangunan dan perabotan, dan lain – lain. Beberapa jenis zat pelarut atau VOC sangat banyak digunakan untuk memampatkan gas dalam aerosol pengharum ruangan yang biasa dipakai oleh manusia. Selain daripada itu didalam rumah masih banyak lagi benda yang didalamnya menggunakan VOC sebagai pelarut, perlu diketahui juga bahwa zat pelarut ini juga dipakai dalam industri cat / painting manufact.

2.4.5. Particulate Matter

Particulate matter (PM) adalah istilah untuk partikel padat atau cair yang ditemukan di udara. Partikel dengan ukuran besar atau cukup gelap dapat dilihat sebagai jelaga atau asap. Sedangkan partikel yang sangat kecil dapat dilihat dengan mikroskop electron. Partikel berasal dari berbagai sumber baik mobile dan stasioner (diesel truk, woodstoves, pembangkit listrik, dll), sehingga sifat kimia dan fisika partikel sangat bervariasi. Partikel dapat langsung

diemisika atau terbentuk di atmosfer saat polutan gas seperti SO₂ dan NO_x bereaksi membentuk partikel halus.

PM-10 Standar merupakan partikel kecil yang bertanggung jawab untuk efek kesehatan yang merugikan karena kemampuannya untuk mencapai daerah yang lebih dalam pada saluran pernapasan. PM-10 termasuk partikel dengan diameter 10 mikrometer atau kurang. Standar kesehatan berdasarkan PP No. 41 Tahun 1999 untuk PM-10 adalah 150 µg/Nm³ (24 jam).

Efek utama bagi kesehatan manusia dari paparan PM-10 meliputi: efek pada pernapasan dan sistem pernapasan, kerusakan jaringan paru-paru, kanker, dan kematian dini. Orang tua, anak-anak, dan orang-orang dengan penyakit paru-paru kronis, influenza, atau asma, sangat sensitif terhadap efek partikel. PM-10 yang asam juga dapat merusak bahan buatan manusia dan merupakan penyebab utama berkurangnya jarak pandang

2.4.6. Karbondioksida

Karbon Dioksida (Rumus CO₂) Atau Zat Asam Arang Adalah Salah Satu Sumber Polusi Yang Banyak Dihasilkan Dari Pembakaran Bahan Bakar Kendaraan Atau Asap Pabrik. Jumlah Karbon Dioksida Terus Meningkat Diseluruh Dunia Seiring Dengan Bertambahnya Populasi dan Kebutuhan Manusia Akan Produk Serta Kendaraan Yang Justru Dominan Menambah Massa Karbon ke Udara. Pohon-Pohon Dan Hutan yang Ada Di Seluruh Dunia Hanya Bisa Menyerap Karbon Yang Ada Hanya 40 % nya Saja.

Hal Ini Dikemukakan Oleh Dr Simon Lewis, Ahli Ekologi Dari Universitas Leeds Inggris Yang Mengatakan Setiap Tahunnya Ada 38 Miliar Ton Karbon Dioksida (CO₂)

Yang Dihasilkan Manusia. Sebanyak 28 Miliar Ton Berasal Dari Pembakaran Bahan Bakar Kendaraan, Pabrik-Pabrik dan Sumber Minyak Fosil Lainnya. Sisanya Sebanyak 10,8 Miliar Ton Berasal Dari Efek Pencemaran Lingkungan Seperti Penebangan Hutan (Deforestasi) Secara Sembarangan.

Dari Jumlah Karbon Dioksida (CO_2) Yang Dihasilkan Itu (38 Miliar Ton/Tahun) Hanya 40 Persen Yang Bisa Diserap Hutan dan Pohon-Pohon. Yakni Diserap Oleh Hutan-Hutan Tropis di Wilayah Selatan Bumi Sebesar 8,8 Miliar Ton Per Tahun dan 6 Miliar Ton Dari Penanaman Kembali (Reboisasi) Hutan-Hutan dan Pohon di Seluruh Dunia.

Karbon dioksida (rumus kimia: CO_2) atau zat asam arang adalah sejenis senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon. Ia berbentuk gas pada keadaan temperatur dan tekanan standar dan hadir di atmosfer bumi. Rata-rata konsentrasi karbon dioksida di atmosfer bumi kira-kira 387 ppm berdasarkan volume walaupun jumlah ini bisa bervariasi tergantung pada lokasi dan waktu. Karbon dioksida adalah gas rumah kaca yang penting karena ia menyerap gelombang inframerah dengan kuat.

Karbon dioksida dihasilkan oleh semua hewan, tumbuh-tumbuhan, fungi, dan mikroorganisme pada proses respirasi dan digunakan oleh tumbuhan pada proses fotosintesis. Oleh karena itu, karbon dioksida merupakan komponen penting dalam siklus karbon. Karbon dioksida juga dihasilkan dari hasil samping pembakaran bahan bakar fosil. Karbon dioksida anorganik dikeluarkan dari gunung berapi dan proses geotermal lainnya seperti pada mata air panas. Karbon dioksida tidak mempunyai bentuk cair pada tekanan di bawah 5,1 atm namun langsung menjadi padat pada

temperatur di bawah -78°C . Dalam bentuk padat, karbon dioksida umumnya disebut sebagai es kering.

CO_2 adalah oksida asam. Larutan CO_2 mengubah warna litmus dari biru menjadi merah muda. Cairan karbon dioksida terbentuk hanya pada tekanan di atas 5,1 atm; titik tripel karbon dioksida kira-kira 518 kPa pada $-56,6^{\circ}\text{C}$ (Silakan lihat diagram fase di atas). Titik kritis karbon dioksida adalah 7,38 MPa pada $31,1^{\circ}\text{C}$. Dari Jumlah Karbon Dioksida (CO_2) Yang Dihasilkan Itu (38 Miliar Ton/Tahun) Hanya 40 Persen Yang Bisa Diserap Hutan dan Pohon-Pohon. Yakni Diserap Oleh Hutan-Hutan Tropis di Wilayah Selatan Bumi Sebesar 8,8 Miliar Ton Per Tahun dan 6 Miliar Ton Dari Penanaman Kembali (Reboisasi) Hutan-Hutan dan Pohon di Seluruh Dunia.

2.5. LNG

Liquefied Natural Gas (LNG) adalah gas alam yang dicairkan dengan didinginkan hingga mencapai suhu -162°C pada tekanan 1 atm. LNG mempunyai komposisi kimia terbanyaknya adalah Methana lalu sedikit Ethana, Propana, Butana dan sedikit sekali Pentana dan Nitrogen. LNG mempunyai beberapa karakteristik khusus (LNG Cargo Operation Manual by NKK Corporation, 2-2) antara lain :

1. Temperatur LNG

LNG disimpan dan dikapalkan pada temperatur yang dijaga antara 157°C sampai dengan -160°C . Karena suhunya yang sangat dingin, maka dibutuhkan material yang khusus dalam membuat alat penyimpanannya yaitu campuran dari stainless steel, aluminium, 9% atau 36% nickel steel, cooper.

2. LNG Vapor Pressure

LNG dikapalkan pada tekanan yang dijaga antara 108 sampai dengan 123 KPa absolute. Pada tekanan ini dan temperatur yang diindikasikan di atas, LNG tepat berada pada titik didihnya. Tekanan uap akan naik sangat cepat ketika temperature LNG naik (sekitar 5 bar pada -140°C dan 12 bar pada suhu -120°C).²⁹

3. LNG Density

Density dari LNG adalah sekitar setengah dari density air, kurang lebih antara 0,42 dan 0,48 cm^3/g . Variasi density dari LNG dibandingkan dengan temperatur :

- a) Pada waktu yang sangat singkat lebih ringan dari udara, hal ini terjadi ketika sesaat setelah menguapnya LNG yang temperaturnya masih hampir sama dengan cairannya.
- b) Tetapi ketika uap tadi menghangat, maka gas tersebut menjadisemakin ringan. Densitynya sama dengan density dari udara ketika mencapai suhu -110°C . Dan pada saat mencapai suhu ruangan, maka uap ini menjadi dua kali lebih ringan dari udara dan larut dengan cepat ke udara.

4. Volumetric Reduction

Karena proses pendinginan, volume dari LNG menjadi 600 kali lebih kecil dibandingkan dengan pada saat dia masih menjadi Gas Alam.

5. Colourless and Odourless

LNG adalah sejenis cairan yang tidak berwarna dan tidak berbau. Gas yang dihasilkan dari proses penguapan LNG juga tidak berbau dan tidak

berwarna. Hanya ketika akan dikirim kepada konsumen pengguna langsung maka gas ini akan diberi pengharum untuk pendeteksian terhadap kebocoran.

6. Flammable Limits

Jika terdapat 5% sampai dengan 14% dari LNG di dalam udara, akan menciptakan campuran yang mudah meledak.

Dalam rangka menjaga terciptanya situasi di atas maka tekanan di dalam tangki harus dijaga sedikit di atas tekanan atmosfer.

7. Mempunyai daya hantar listrik yang rendah.
8. Mudah menguap.
9. Low viscosity (kekentalannya rendah).
10. Hampir tidak mempunyai daya larut di dalam air.
11. Tidak membakar kulit dan tidak beracun (non toxic).

Bahan bakar gas adalah gas bumi yang telah dimurnikan dan aman, bersih andal, murah, dipakai sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Komposisi bahan bakar gas sebagian besar terdiri dari gas metana (CH_4) dan etana (C_2H_6) lebih kurang 90% dan selebihnya adalah gas propana (C_3H_8), butana (C_4H_{10}), pentana (C_5H_{12}), nitrogen dan karbon dioksida. Bahan bakar gas lebih ringan daripada udara dengan berat jenis sekitar 0,6036 dan mempunyai nilai oktan 120. Komposisi utama dari bahan bakar gas adalah unsur metana (CH_4) sebesar 95,03%; etana (C_2H_6) sebesar 2,23%; karbondioksida (CO_2) sebesar 1,75%; Nitrogen (N_2) 0,68 % dan propana (C_3H_8) sebesar 0,29%. Dari komposisi ini terlihat bahwa komponen utama dari bahan bakar gas adalah gas methana. Berat jenis bahan bakar gas lebih kecil dari berat

jenis udara, sehingga jika terjadi kebocoran baik pada tangki penyimpanan maupun saluran bahan bakar akan segera naik ke atas. Bahan bakar gas karena wujudnya berupa gas, tidak perlu diuapkan terlebih dahulu sebagaimana pada bahan bakar minyak (gasoline), sehingga emisi yang berlebihan karena terlau kayanya campuran bahan bakar udara pada saat start dapat diperkecil. Nilai oktan bahan bakar gas lebih tinggi dibandingkan gasoline, yaitu antara 120 sampai 130. Dengan tingginya nilai oktan tersebut maka pada rasio kompresi yang lebih tinggi tidak akan terjadi knocking pada motor.

Keunggulan bahan bakar gas ditinjau dari proses pembakarannya di dalam ruang bakar adalah karena bahan bakar gas memiliki perbandingan atom karbon terhadap atom hidrogen yang rendah, sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna. Mengingat bahan bakar gas sudah berada pada fase gas, maka dengan mudah dapat bercampur dengan udara dalam ruang bakar, sehingga oksigen dapat dengan mudah bergabung dengan karbon dan memberikan reaksi pembentukan CO_2 bukan CO.

Disamping itu karena jumlah atom karbon molekul bahan bakar gas lebih sedikit dibandingkan bahan bakar minyak, maka CO yang terbentuk dari proses pembakaran juga lebih sedikit. Penggunaan LNG sebagai bahan bakar memberikan perbaikan lingkungan yang besar dan dapat diharapkan bahwa LNG menjadi lebih hemat biaya. Keuntungan terbesar adalah emisi yang lebih rendah dan udara bersih di pelabuhan dan kota-kota di sepanjang laut.

Gas alam merupakan bahan bakar yang sangat baik untuk mesin pembakaran internal, karena beberapa sifat bahan bakar yang memungkinkan untuk merancang mesin berbahan

bakargasdengan efisiensi tinggidan emisi gas buang yang rendah.

Berikut ini adalah alasan teknis sehingga gas alam dapatdigunakan sebagai bahan bakar kapal:

1. Kandungan metana yang tinggi sehingga rasio daya tinggi
2. Mudah dicampur dengan udara dan terbakar pada kecepatan tinggi bahkan pada pemasukan udara yang banyak.Hal ini untuk menghindari terjadinya suhu dan tekanan yang tinggi selama pembakaran, sehingga mengurangi emisi NOx sebanyak 90% dibandingkan minyak solar dan MDO (marine diesel oil). Hal ini juga memungkinkan untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi.
3. Tidak mengandung Sulfur karena itu tidak ada emisi Sox dan tidak ada partikulat.

Efisiensi pembakaran gas alam lebih tinggi daripada bahan bakar fosil lainnya. Hal ini dikarenakan setiap bahan bakar yang terbakar berupa fase gas, jadi jika menggunakan bahan bakar minyak maka memerlukan energi untuk merubah menjadi gas baru terjadi proses pembakaran.

Undang-undang dan faktor lingkungan merupakan masukan yang sangat kuat untuk kelanjutan masa depan dalam pengembangan LNG sebagai bahan bakar kelautan. Teknologi ini sudah tersedia dan terbukti baik tetapi akan membutuhkan adaptasi lebih lanjut. LNG sebagai bahan bakar ini cocok untuk berbagai jenis kapal.

2.6. Perhitungan Estimasi Emisi

Perhitungan estimasi emisidihitung berdasarkan standar metododlogi eropa (MEET), dimana perhitungan ini telah diterapkan oleh Trozzi et al. (Pitana et al., 2010 ; Trozzi, et al., 1998, Trozzi., et al., 1999). Estimasi emisi mempertimbangkan dua belas kapal yang mempunyai gross tonnage di atas 100 GT, data lainnya antara lainnya faktor emisi, dan spesifikasi parameter kapal seperti konsumsi bahan bakar, tipe mesin, dll

Tabel 2. 3. Penghitungan Estimasi Konsumsi Bahan Bakar

Ship Class	Consumption at full power (tons/day as a function of gross tonnage)
Solid Bulik	$C_{jk} = 20.186 + 0.00049 \text{ X GT}$
Liquid Bulk	$C_{jk} = 14.685 + 0.0007 \text{ X GT}$
General Cargo	$C_{jk} = 9.8197 + 0.00143 \text{ X GT}$
Container	$C_{jk} = 8.0552 + 0.0235 \text{ X GT}$
Ro-Ro Cargo	$C_{jk} = 12.834 + 0.00156 \text{ X GT}$
Passenger	$C_{jk} = 16.904 + 0.00198 \text{ X GT}$
High Speed Ferry	$C_{jk} = 39.483 + 0.00972 \text{ X GT}$
Island Cargo	$C_{jk} = 9.8197 + 0.0143 \text{ X GT}$
Sail Ship	$C_{jk} = 0.4268 + 0.001 \text{ X GT}$
Tugs	$C_{jk} = 5.6511 + 0.01048 \text{ X GT}$
Fishing	$C_{jk} = 1.9387 + 0.00448 \text{ X GT}$
Other Ships	$C_{jk} = 9.7126 + 0.00091 \text{ X GT}$

Trozzy dalam penelitiannya (Trozzi, et al., 1998 ; 1999) menggunakan konsumsi bahan bakar mesin sehari-hari, sepeeti yang ditunjukkan pada tabel di atas dan emisi dihitung

dengan memepertimbangkan faktor-faktor seperti mesin dan jenis bahan bakar dari setiap jenis bahan bakar. Konsumsi bahan bakar terhadap tonase kotor.

Selain itu, tingkat emisi yang diansumsikan seperti yang ditunjukkan seperti dalam persmaaan berikut

$$\begin{aligned} E_i &= \sum_{jklm} E_{ijklm} \\ E_i &= S_{jkm} (GT) t_{jklm} F_{ijklm} \end{aligned}$$

2.6.1 Perhitungann Estimasi Konsumsi Bahan Bakar Permesianan Utama

Sebagai tambahan, estimasi konsumsi bahan bakar mesin bantu didapat dari persamaan dasar (Ishida, 2003)

$$F = 0.2 \times O \times L$$

2.6.3 Perhitungan Estimasi Bahan Bakar Gas dan Minyak

Mesin dual fuel adalah mesin yang memakai dua sistem pengisian bahan bakar yaitu sistem dengan bahan bakar LNG sebagai bahan bakar utama dan sistem dengan bahan bakar minyak diesel sebagai back up fuel.

1. Prinsip Sistem LNG sebagai Bahan Bakar Utama

Proses mendapatkan uap dari LNG cair yang akan digunakan pada sistem dual fuel Instalasi LNG pada Sistem Dual Fuel Dari gambar dapat dijelaskan bahwa LNG cair dari bunker dimasukkan ke tangki LNG dimana temperatur LNG sebesar -1620C. LNG cair ini dimasukkan ke evaporator dan dipanaskan sampai temperatur 00C dan berubah fase menjadi uap. Uap ini kemudian didistribusi melalui Gvu (Gas Valve Unit). Lokasi Gvu berada antara gudang LNG dan mesin dengan jarak maksimum 10 meter dari

mesin. Ketika GVU ditutup maka sistem pembakaran menggunakan bahan bakar minyak, GVU. LNG yang telah menjadi uap yang didistribusi melalui GVU kemudian diteruskan ke mesin untuk pembakaran dan menghasilkan energi untuk menggerakkan propeller kapal .

Gas Valve Unit (GVU)

- a. Fungsi utamanya mengatur tekanan ke mesin berdasarkan beban mesin, 1 unit GVU tiap mesin.
- b. GVU berada diantara Sistem Penampungan LNG dan mesin. Disarankan jarak maksimum dari mesin 10 m

2. Prinsip Kerja Mesin Sistem Dual Fuel

Penggerak kapal menggunakan dual fuel diesel adalah salah satu dari penggerak mesin kapal karena bahan bakar yang digunakan adalah LNG dan minyak solar untuk pembakarannya. Pada mesin diesel dual fuel, sejumlah kecil bahan bakar diesel disemprotkan untuk membantu terjadinya penyalan gas. Gas merupakan bahan bakar utama sehingga emisi gas buang yang dihasilkan lebih baik dari pada diesel. Cara kerja dari mesin diesel sistem dual fuel ketika bekerja dengan gas, mesin dual fuel bertindak sesuai dengan prinsip Otto, gas alam dengan tekanan rendah (kurang dari 5 bar) dimasukkan melalui lubang – lubang saluran pemasukan udara (air inlet channels) dari masing – masing silinder pada saat langkah pengisian (intake stroke) untuk membuat pembauran awal dari (campuran) udara dan gas yang kurus (to create a lean pre-mixed air-gas mixture) di dalam ruangan pembakaran. Penyalan pada akhir kompresi seperti pada sebuah mesin diesel yang konvensional, terjadi dari penyemprotan sejumlah kecil minyak diesel langsung ke arah ruang pembakaran sebagai pilot fuel (bahan bakar penyulut),

Apabila sistem pembakaran hanya menggunakan bahan bakar minyak maka sistem menggunakan prinsip diesel, yang mana udara masuk dan mengalami kompresi, kemudian nozzle menyemprotkan bahan bakar minyak menimbulkan nyala seperti

Penyemprotan “Micro Pilot” (penyulut kecil) pada energi bahan bakar cair yang digunakan (exploited) pada mesin-mesin diesel tipe DF, besarnya hanya kurang dari 1% dari seluruh energi bahan bakar cair yang digunakan untuk mendapatkan daya beban normal. Sistem penyemprotan dan perbandingan jumlah udara dan gas diatur secara ketat (teliti) oleh pengontrol elektronik untuk menjaga agar setiap silinder mesin berada pada titik pengoperasian yang tepat diantara batas-batas “knocking” (ketukan karena penyalaan terlalu awal) dan misfiring (penyalaan yang gagal). Penyemprotan dilakukan dengan menggunakan nozzle yang dikenal dengan “Pilot Injection Valve”

3. Volume Tangki Bahan Bakar Dual Fuel

Salah satu tantangan utama penggunaan LNG sebagai bahan bakar untuk kapal adalah menemukan ruang yang cukup untuk penyimpanan bahan bakar. Pada kandungan energi yang sama, LNG memiliki volume 1,8 kali lebih besar dari minyak diesel. Namun demikian, tekanan tangki penyimpanan besar membutuhkan ruang yang besar, dan kebutuhan volume sebenarnya adalah di kisaran tiga kali lipat dari minyak diesel. Ketersediaan bahan bakar LNG di bunkering port merupakan tantangan yang perlu diselesaikan sebelum LNG menjadi alternatif praktis. Konversi dari mesin propulsi diesel ke LNG propulsi adalah mungkin, tetapi LNG relevan untuk

pembuatan kapal baru karena diperlukan modifikasi ruang mesin yang besar dan alokasi kapasitas penyimpanan yang ekstra (IMO, Second IMO GHG Study Volume tangki bahan bakar dual fuel ialah perbandingan antara volume tangki LNG dengan volume tangki solar yaitu diperkirakan 70 : 30 (Hugli Product for Engines and Gensets. Calculation of Dual Fuel. www.huegli-tech.com).

2.7. Konsep Dinamika Sistem

Dalam penelitian ini, pemodelan menggunakan Dinamika Sistem yang sudah digunakan untuk berbagai pemodelan yang ada. Pemodelan (modelling) dapat diartikan sebagai suatu perwakilan atau abstraksi dari sebuah obyek atau situasi aktual Istilah lainnya disebut tiruan model dunia nyata yang dibuat virtual . Bentuk yang berupa tiruan ini maka model tidak mesti harus sama persis dengan aslinya, minimal memiliki keserupaan. Model yang dibuat harus dilakukan analisis lebih lanjut. Pemodelan merupakan kumpulan aktivitas pembuatan model. Sebagai landasan pengertian pemodelan diperlukan suatu penelaahan tentang model itu sendiri secara spesifik ditinjau dari pendekatan sistem. Sebelum sampai pada tahap pemodelan, perlu diketahui lebih dahulu jenis dan klasifikasi model-model secara terperinci. Salah satu dasar utama untuk mengembangkan model adalah guna menemukan peubah-peubah apa yang penting dan tepat.

Penemuan peubah-peubah tersebut sangat erat hubungannya dengan pengkajian hubungan-hubungan yang terdapat di antara peubah-peubah. Teknik kuantitatif seperti persamaan regresi dan simulasi digunakan untuk mempelajari keterkaitan antar peubah dalam sebuah model. Model juga

dikategorikan dalam tiga macam model yaitu model statis, model statis komparatif dan model dinamis.

Model statis menggambarkan fenomena kejadian pada saat ini. Model statis komparatif merupakan model yang membandingkan beberapa fenomena dengan kejadian yang berbeda dalam suatu waktu. Model dinamis merupakan model yang dapat dikembangkan untuk menunjukkan perubahan over time permintaan dan pasokan. Model ini juga merefleksikan perubahan melalui simulasi ataupun berdasarkan waktu real dan menghitung komponen secara konstan dengan memasukkan beberapa alternatif tindakan yang akan datang

Proses pemodelan terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut :

1. Perumusan masalah dan pemilihan batasan dunia nyata.
Tahap ini meliputi kegiatan pemilihan tema yang akan dikaji, penentuan variabel kunci, rencana waktu untuk mempertimbangkan masa depan yang jadi pertimbangan serta seberapa jauh kejadian masa lalu untuk mempertimbangkan masa depan yang jadi pertimbangan serta seberapa jauh kejadian masa lalu dari akar masalah tersebut dan selanjutnya mendefinisikan masalah dinamisnya
2. Formulasi hipotesis dinamis dengan menetapkan hipotesis berdasarkan pada teori perilaku terhadap masalah dan membangun peta struktur kausal melalui gambaran model mental pemodel dengan bantuan alat-alat seperti Causal Loop Diagram (CLD) dan stock flow diagram.

2.7.1 Pengertian Dinamika Sistem

Sistem dinamik adalah metodologi untuk memahami suatu masalah yang kompleks. Metodologi ini dititikberatkan pada pengambilan kebijakan dan bagaimana kebijakan tersebut menentukan tingkah laku masalah-masalah yang dapat dimodelkan oleh sistem secara dinamik. Permasalahan dalam sistem dinamik dilihat tidak disebabkan oleh pengaruh dari luar namun dianggap disebabkan oleh struktur internal sistem. Tujuan metodologi sistem dinamik berdasarkan filosofi kausal (sebab akibat) adalah mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang tata cara kerja suatu sistem.

Tahapan dalam pendekatan sistem dinamik adalah :

- a. Identifikasi dan definisi masalah
- b. Konseptualisasi sistem
- c. Formulasi model
- d. Simulasi model
- e. Verifikasi dan validasi model
- f. Analisis kebijakan
- g. Implementasi kebijakan

Tahapan dalam pendekatan sistem dinamik diawali dan diakhiri dengan pemahaman sistem dan permasalahannya sehingga membentuk suatu lingkaran tertutup.

Pemodelan merupakan alat bantu dalam pengambilan keputusan. Model digambarkan sebagai suatu sistem yang dibatasi. Sistem yang dibatasi ini merupakan sistem yang meliputi semua konsep dan variabel yang saling berhubungan dengan permasalahan dinamik yang ditentukan. Permasalahan dalam sistem dinamik dilihat tidak disebabkan oleh pengaruh dari luar, namun dianggap disebabkan oleh struktur internal dari sistem. Tujuan metodologi sistem dinamik berdasarkan

filosofi kausal (sebab akibat) adalah mendapatkan pemahaman mendalam tentang tata cara kerja suatu sistem (

Proses pemodelan terdiri atas langkah-langkah sebagai berikut :

1. Perumusan masalah dan pemilihan batasan dunia nyata. Tahap ini meliputi kegiatan pemilihan tema yang akan dikaji, penentuan variabel kunci, rencana waktu untuk mempertimbangkan masa depan yang jadi pertimbangan serta seberapa jauh kejadian masa lalu dari akar masalah tersebut dan selanjutnya mendefinisikan masalah dinamisnya.
2. Formulasi hipotesis dinamis dengan menetapkan hipotesis berdasarkan pada teori perilaku terdapat masalahnya dan membangun peta struktur kausal melalui gambaran model mental pemodel dengan bantuan alat-alat seperti *causal loop* diagram, *Stock flow* diagram, dan alat bantu lainnya. Model mental adalah asumsi yang sangat dalam melekat, umum atau bahkan suatu gambaran dari bayangan atau citra yang berpengaruh pada bagaimana kita memahami dunia dan bagaimana kita mengambil tindakan Tahap formulasi model simulasi dengan membuat spesifikasi struktur, aturan keputusan, estimasi parameter dan uji konsistensi dengan tujuan dan batasan yang telah ditetapkan sebelumnya.
3. Pengujian meliputi pengujian melalui perbandingan dari model yang dijadikan referensi, pengujian kehandalan (robustness) dan uji sensitivitas.

Evaluasi dan perancangan kebijakan berdasarkan skenario yang telah diujicobakan dari hasil simulasi. Perancangan kebijakan mempertimbangkan analisis dampak

yang ditimbulkan, kehandalan model pada skenario yang berbeda dengan tingkat ketidakpastian yang berbeda pula serta keterkaitan antar kebijakan agar dapat bersinergi

2.7.2 Langkah-Langkah Pemodelan Dinamika Sistem

Proses pemodelan terdiri atas langkah-langkah sebagai berikut (Sterman 2000):

1. Perumusan masalah dan pemilihan batasan dunia nyata. Tahap ini meliputi kegiatan pemilihan tema yang akan dikaji, penentuan variabel kunci, rencana waktu untuk mempertimbangkan masa depan yang jadi pertimbangan serta seberapa jauh kejadian masa lalu dari akar masalah tersebut dan selanjutnya mendefinisikan masalah dinamisnya.
2. Formulasi hipotesis dinamis dengan menetapkan hipotesis berdasarkan pada teori perilaku terdapat masalahnya dan membangun peta struktur kausal melalui gambaran model mental pemodel dengan bantuan alat-alat seperti *causal loop* diagram, *Stock flow* diagram, dan alat bantu lainnya. Model mental adalah asumsi yang sangat dalam melekat, umum atau bahkan suatu gambaran dari bayangan atau citra yang berpengaruh pada bagaimana kita memahami dunia dan bagaimana kita mengambil tindakan (Senge 1995).
3. Tahap formulasi model simulasi dengan membuat spesifikasi struktur, aturan keputusan, estimasi parameter dan uji konsistensi dengan tujuan dan batasan yang telah ditetapkan sebelumnya.
4. Pengujian meliputi pengujian melalui perbandingan dari model yang dijadikan referensi, pengujian kehandalan (*robustness*) dan uji sensitivitas.

4. Evaluasi dan perancangan kebijakan berdasarkan skenario yang telah diujicobakan dari hasil simulasi. Perancangan kebijakan mempertimbangkan analisis dampak yang ditimbulkan, kehandalan model pada skenario yang berbeda dengan tingkat ketidakpastian yang berbeda pula serta keterkaitan antar kebijakan agar dapat bersinergi.

Tahapan-tahapan pemodelan :

1. mendefinisikan masalah dan tujuan model
2. Menentukan variabel tujuan
3. memilih variabel control
4. memilih parameter variabel kontrol
5. menguji model yang dihasilkan
6. melihat bagaimana model akan bekerja, memilih horizon waktu atau perilaku dinamis dalam waktu
7. jalankan model
8. mengganti parameter dengan alasan ekstrim
9. membandingkan hasil dengan data eksperimen
10. Perbaiki model berdasarkan parameter yang ada

2.7.3 Kelebihan dan Kekurangan Dinamika Sistem

Dalam penggunaan kelebihan dari dinamika sistem adalah sebagai berikut:

- a. Tersedianya kerangka kerja yang fleksible bagi aspek kausalitas, nonlinearitas, dinamika dan perilaku endogen.

- b. Menambah pengalaman eksperimental bagi para pengambil kebijakan berdasarkan perilaku faktor-faktor pendukung sistem.
 - c. Adanya kemudahan untuk mengatur scenario simulasi sesuai dengan yang dikehendaki.
 - d. Tersedianya sumber informasi dari data yang sifatnya mental, tertulis, maupun numeric sehingga model yang dihasilkan lebih berisi dan representative.
 - e. Tidak membutuhkan parameter yang terlalu teliti.
 - f. Menghasilkan struktur model dari input-input yang manajerial dan mensimulasikannya lewat prosedur komputasi yang kuantitatif.
- Sedangkan kekurangan dari dinamika sistem adalah:
- a. Ketepatan model sangat bergantung pada pembuat model.
 - b. Sangat dipengaruhi ketepatan pembuat batasan model.
 - c. Kurang baik digunakan untuk mempelajari sistem jangka pendek.
 - d. Tidak menghasilkan solusi optimal.

Pemodelan umumnya dilakukan dengan struktur yang sangat kompleks, sehingga sulit untuk dimengerti oleh orang lain

2.7.4 Verifikasi dan Validasi

Verifikasi model adalah pembuktian bahwa model komputer yang telah disusun pada tahap sebelumnya mampu melakukan simulasi dari model abstrak yang dikaji. Dalam pengertian lain, verifikasi adalah sebuah proses untuk

meyakinkan bahwa program komputer yang dibuat beserta penerapannya adalah benar. Cara yang dilakukan adalah menguji sejauh mana program komputer yang dibuat telah menunjukkan perilaku dan respon yang sesuai dengan tujuan dari model.

Validasi adalah upaya penyimpulan apakah model sistem tersebut merupakan perwakilan yang sah dari realitas yang dikaji, sehingga dapat menghasilkan kesimpulan yang meyakinkan (Validasi juga merupakan proses iteratif sebagai proses penyempurnaan model komputer. Validasi dalam pengertian yang lain adalah substansi bahwa model yang dikomputerisasikan dalam lingkup aplikasinya memiliki kisaran akurasi yang memuaskan dan konsisten dengan maksud dari penerapan komputer. Proses verifikasi dan validasi dilakukan dalam setiap tahapan proses pemodelan yaitu berupa validasi terhadap model konseptual, verifikasi terhadap model komputer dan validasi operasional serta validitas data.

Validasi bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara hasil simulasi dengan gejala atau proses yang ditirukan. Model dapat dinyatakan baik jika kesalahan atau simpangan hasil simulasi terhadap gejala atau proses yang terjadi di dunia nyata relatif kecil. Hasil simulasi yang sudah divalidasi tersebut digunakan untuk memahami perilaku gejala atau proses serta kecenderungan di masa depan, yang dapat dijadikan sebagai dasar bagi pengambil keputusan untuk merumuskan suatu kebijakan di masa mendatang.

Suatu model dikatakan valid jika struktur dasarnya dan polanya dapat menggambarkan perilaku sistem nyata, atau dapat mewakili dengan cukup akurat, data yang dikumpulkan sehubungan dengan sistem nyata atau asumsi yang dibuat

berdasarkan referensi sesuai cara sistem nyata bekerja. Walaupun validasi suatu sistem sangat dibatasi oleh model mental dari pemodel, namun demikian untuk memenuhi kaidah keilmuan, pada suatu sistem dinamik tetap tetap harus dilakukan uji validasi. Dalam pengujian validasi suatu model, saat ini terdapat beberapa teknik.

Selain itu, validasi model ini dilakukan pula terhadap kinerja atau keluaran model, yaitu membandingkan hasil keluaran model yang dirancang dan data lapangan pada periode waktu selama 10 tahun. Validasi kinerja ini dapat dilakukan dengan memverifikasi grafik keluaran model dan membandingkannya dengan grafik kecenderungan (*trend*) perubahan dari data lapangan berdasarkan suatu seri data, atau dengan memverifikasi data lapangan berdasarkan perhitungan standar penyimpangan data (*root mean square error*) pada masing-masing level keluaran model dengan tingkat perbedaan maksimal dari nilai rata-rata data empirik sebesar 10% berdasarkan persamaan standar deviasi.

Model dinyatakan valid jika hasil pengujian (verifikasi) sesuai dengan data lapangan. Hasilnya dianggap dapat digunakan untuk mensimulasikan atau memproyeksikan keadaan perubahan yang diperkirakan terjadi untuk periode selama 10 tahun ke depan. Salah satu teknik yang dapat digunakan adalah uji keyakinan yang dipaparkan oleh R.G Coyle dalam *System Dynamics Modeling: A Practical Approach* (1996):

- a. *Causal Loop* diagram harus berhubungan dengan permasalahan,
- b. Persamaan harus disesuaikan dengan causal loop diagram khususnya tanda + atau – harus konsisten di antara persamaan dengan *causal loop*.

- c. Dimensi dalam model harus valid,
- d. Model tidak menghasilkan nilai yang tidak masuk akal, seperti stok negatif,
- e. Perilaku model harus masuk akal, artinya apabila ada sesuatu yang seharusnya terjadi, maka harus sesuai dengan apa yang diharapkan dari model tersebut,
- f. Massa model harus *balance*, artinya total kuantitas yang telah masuk dan keluar dari proses sistem tetap dapat dijelaskan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

1.1. Perumusan Masalah

Kegiatan dalam tahapan ini dilakukan dalam pengidentifikasian masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah menentukan semua permasalahan yang ada pada isu terkini. Dalam tahapan ini penegerjaan tugas akhir berada di tahapan awal untuk merumuskan suatu maslah untuk diselesaikan.

Permasalahan pokok yang perlu diselesaikan adalah permasalahan emsi kapal yang menggunakan bahan bakar LNG sehingga mampu mengurangi kadar emisi di udara. Hal ini bertujuan untuk mengurangi penyebab pemanasan global di tengah kebijakan yang ada.

1.2. Penetapan Tujuan

Dalam tahapan ini, penelitian diharapkan memiliki tujuan sehingga bias membatasi penelitian agar tidak melebar dari tujuan yang diharapkan. Penetapan tujuan ini adalah untuk Memmodelan pengaruh emisi gas buang dalam penggunaan bahan bakar LNG pada kapal-kapal yang beroperasi di jalur APBS dengan pemodelan dinamika sistem.

3.3 Studi Pustaka

Pada tahap ini dilakukan studi literature terhadap berbagai referensi terkait dengan topic penelitian. Studi Pustaka ini dimaksudkan untuk menarik konsep dan metode yang tepat untuk menyelesaikan maslah yang telah dirumuskan pada tahap sebelumnya dan untuk mewujudkan tujuan yang dimaksudkan. Studi pustaka ini termasuk mencari referensi atas teori-teori terkait atau hasil penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya

Studi literature ini dilakukan untuk memepelajari tentang teori-teori dasar permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini. Dengan tujuan untuk mendapatkan pengetahuan dasar dan data dari penelitian-penelitian sebelumnya yang dapat digunakan sebagai acuan penelitian selanjutnya. Pada tahap ini dilakukan study terhadap referensi-referensi yang terdapat pada jurnal tugas akhir, internet , dan buku-buku materi penunjang.

3.4 Pengumpulan Data

Pada langkah ini adalah mengumpulkan data yang berhubungan dan dapat membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini. Data primer yang dibutuhkan untuk melakukan penilaian risiko:

1. Data Jenis Kapal
2. Data Gross tonnage

3.5 Penghitungan Estimasi

Dalam tahap ini merupakan tahapan untuk pengolahan data yang di dapat dari tahapan sebelumnya. Hasil dari tahapan ini akan menentukan apakah hpenelitian ini layak dikerjakan atau tidak sehingga bis a diselesaikan.

Pengitungan estimasi emisi, diawali dengan penghitungan konsumsi bahan bakar minyak dengan pendekatan etode Trozzi, selanjutnya dihitung emisi yang terjadi.Setelah itu perbandingan dengan penghitungan konsumsi bahan bakar gas dan minyak. Dan dihitung emisi dari penggunaan kedua bahan bakar tersebut

3.6 Pemodelan Dinamika Sistem

Pembuatan model dinamika sistem digunakan untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian ini. Variable-variabel pembangun model yang cukup banyak dalam sistem serta kompleksitas sistem menjadi salah satu pertimbangan utama

pemilihan metode ini. Sebagaimana yang dijelaskan sebelumnya, dinamika sistem mampu untuk mengenali variabel-variabel pendukung dalam suatu sistem, keterkaitan hubungan antar variabel tersebut mampu untuk menunjukkan pengaruh keterkaitan hubungan perilaku variabel satu terhadap lainnya dalam suatu model.

3.7 Validasi Model

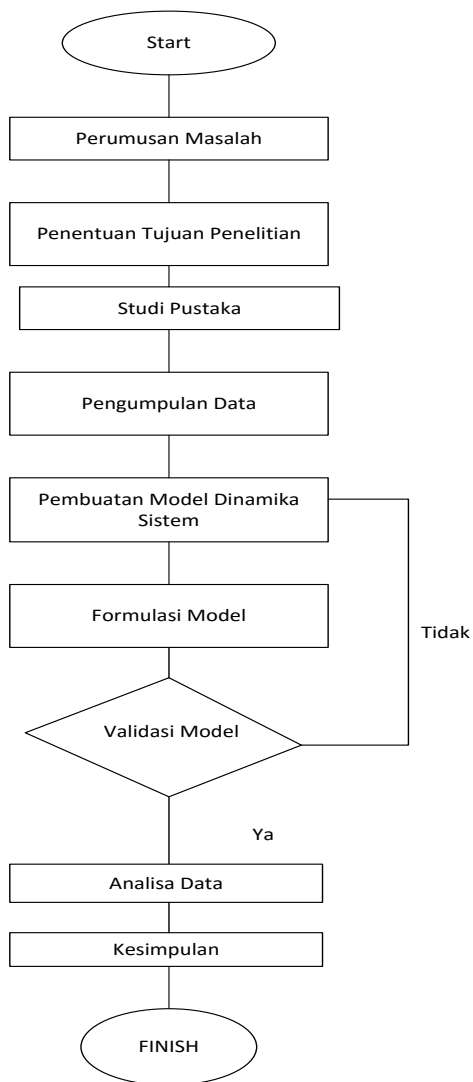
Validasi bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara hasil simulasi dengan gejala atau proses yang ditirukan. Model dapat dinyatakan baik jika kesalahan atau simpangan hasil simulasi terhadap gejala atau proses yang terjadi di dunia nyata relatif kecil. Hasil simulasi yang sudah divalidasi tersebut digunakan untuk memahami perilaku gejala atau proses serta kecenderungan di masa depan, yang dapat dijadikan sebagai dasar bagi pengambil keputusan untuk merumuskan suatu kebijakan di masa mendatang.

Suatu model dikatakan valid jika struktur dasarnya dan polanya dapat menggambarkan perilaku sistem nyata, atau dapat mewakili dengan cukup akurat, data yang dikumpulkan sehubungan dengan sistem nyata atau asumsi yang dibuat berdasarkan referensi sesuai cara sistem nyata bekerja. Walaupun validasi suatu sistem sangat dibatasi oleh model mental dari pemodel, namun demikian untuk memenuhi kaidah keilmuan, pada suatu sistem dinamik tetap tetap harus dilakukan uji validasi. Dalam pengujian validasi suatu model, saat ini terdapat beberapa teknik.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan dari keseluruhan proses yang telah dilakukan sebelumnya serta

memberikan jawaban atas permasalahan yang ada. Sedangkan saran merupakan hal-hal apa saja yang dapat dijadikan masukan dan perbaikan untuk kedepannya.



Gambar 3. 1. Grafik Alur Pengerjaan Tugas Akhir

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB IV

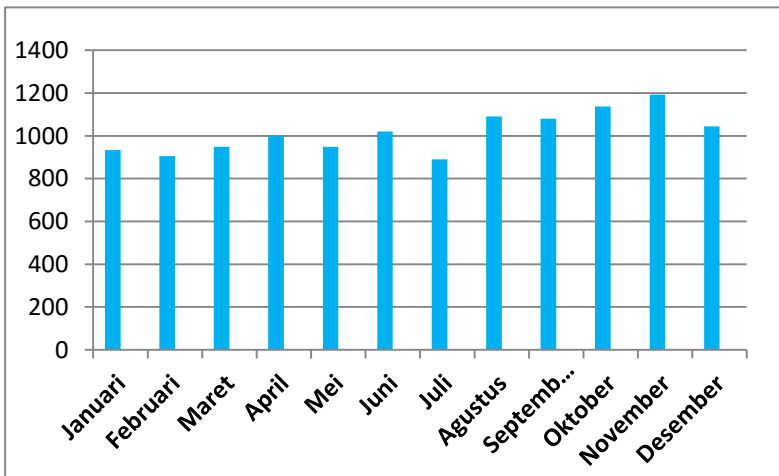
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

1.1 Analisa Data KSOP

Dalam penegerjaan tugas akhir ini penulis pembatasan masalah dari data yang di dapatkan dari Kantor Kesyahbandaran dan Otoritas Pelabuhan (KSOP) Surabaya pada tahun 2015

4.1.1. Analisa Densitas Traffic di ASDP dari data KSOP selama Satu Tahun

Dari analisa data KSOP Suraabaya selama satu tahun, yaitu tahun 2015 maka di dapatkan data kapal yang masuk dan keluar di daerah tersebut seperti yang tercantumkan pada tabel 4.1



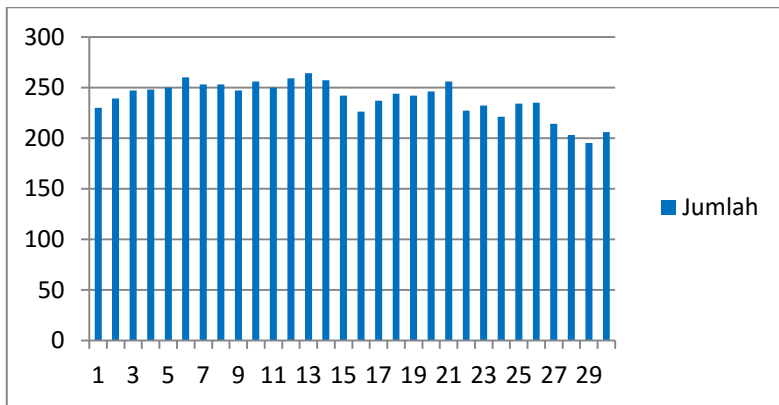
Gambar 4. 1. Trafik densitas daerah APBS tahun 2015

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa tingkat densitas yang ada di APBS pada tahun 2015 terbanyak pada bulan November

sejumlah 1192 kapal, diikuti bulan Oktober dan Agustus di urutan kedua dan ketiga yaitu 1137 dan 1090 kapal

4.1.2. Analisa Densitas Traffic Bulan November 2015

Setelah mengetahui bulan November merupakan bulan yang memiliki tingkat densitas tertinggi maka selanjutnya mengidentifikasi trafik densitas ke 30 hari di bulan November yang ditunjukkan pada gambar 4.2



Gambar 4. 2. Densitas Trafik Bulan November 2015

Tabel di atas menunjukkan bahwa kapal di Bulan November 2015 diambil data hari ke 13 yang menunjukkan tingkat kepadatan kapal ditunjukkan pada tanggal 13 sejumlah 264 kapal yang ada di perairan tersebut.

4.2 Penghitungan Estimasi Bahan Bakar pada Kondisi Awal

Dalam melakukan penghitungan estimasi penggunaan bahan bakar minyak ini diperoleh dari perhitungan estimasi emisi dengan menggunakan metode *Trozzi* dan metode et al untuk penghitungan konsumsi bahan bakar. Penghitungan konsumsi

bahan bakar ini menggunakan software powersim Studio 8 untuk mengetahui hasil penghitungan.

4.2.1 Penghitungan Konsumen Bahan Bakar Minyak

Dalam melakukan perhitungan estimasi emisi dihitung berdasarkan standar metodologi eropa (MEET), dimana perhitungan ini telah diterapkan oleh Trozzi et al. (Pitana et al., 2010 ; Trozzi, et al., 1998, Trozzi., et al., 1999)., data lainnya antara lainnya faktor emisi, dan spesifikasi parameter kapal seperti konsumsi bahan bakar, tipe mesin, dll

Tabel 4. 1. Estimasi Konsumsi bahan Bakar dengan pendekatan GT

Ship Class	Consumption at full power (tons/day as a function of gross tonnage)
Solid Bulk	$C_{jk} = 20.186 + 0.00049 \times GT$
Liquid Bulk	$C_{jk} = 14.685 + 0.0007 \times GT$
General Cargo	$C_{jk} = 9.8197 + 0.00143 \times GT$
Container	$C_{jk} = 8.0552 + 0.0235 \times GT$
Ro-Ro Cargo	$C_{jk} = 12.834 + 0.00156 \times GT$
Passenger	$C_{jk} = 16.904 + 0.00198 \times GT$
High Speed Ferry	$C_{jk} = 39.483 + 0.00972 \times GT$
Island Cargo	$C_{jk} = 9.8197 + 0.0143 \times GT$
Sail Ship	$C_{jk} = 0.4268 + 0.001 \times GT$
Tugs	$C_{jk} = 5.6511 + 0.01048 \times GT$
Fishing	$C_{jk} = 1.9387 + 0.00448 \times GT$
Other Ships	$C_{jk} = 9.7126 + 0.00091 \times GT$

Trozzy dalam penelitiannya (Trozzi, et al., 1998 ; 1999) menggunakan konsumsi bahan bakar mesin sehari-hari, sepeeti

yang ditunjukkan pada tabel di atas dan emisi dihitung dengan memepertimbangkan faktor-faktor seperti mesin dan jenis bahan bakar dari setiap jenis bahan bakar. Konsumsi bahan bakar terhadap tonase kotor.

Selain itu, tingkat emisi yang diansumsikan seperti yang ditunjukkan seperti dalam persmaaan berikut

$$\begin{aligned} E_i &= \sum_{jklm} E_{ijklm} \\ E_i &= S_{jkm} (GT) t_{jklm} F_{ijklm} \end{aligned}$$

Penghitungan ini menggunakan contoh salah satu kapal di dalam populasi dari kapal yang masuk dalam data KSOP, contoh penghitungan seperti :

Nama Kapal : SOUTHERN FALCON
 Jenis kapal : Tanker
 GT : 5.551 ton

Sehingga didapatkan konsumsi bahan bakar minyak dari kapal tersebut dengan menggunakan metode *Trozzi* adalah

$$\text{Liquid Bulk} \quad C_{jk} = 14.685 + 0.0007 \times GT$$

$$\begin{aligned} C_{jk} &= 14.685 + 0.00007 (5.551) \\ &= 18.5707 \text{ ton/hari} \\ &= 0.773779167 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

C_{jk} adalah konsumsi bahan bakar untuk mesin utama pada tenaga penuh atau 100 % . namun dalam kasus ini, kapal diestimasikan dalam kondisi *cruising* sehingga nilai C_{jk} berubah menjadi

$$\begin{aligned} S_{jk} (GT) &= C_{jk} \times 0.8 \\ &= 0.773779167 \times 0.8 \\ &= 0.61902333 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

4.2.2 Penghitungan Emisi Bahan Bakar Minyak

Perhitungan Estimasi Bahan bakar yaitu dengan menggunakan faktor emisi berbagai gas yang ada

1. NO_x :

$$E_{NOX}^1 = S_{jk}(GT)_{t_{jklm}} \times F_{ijklm}$$

$$E_{NOX}^1 = 0.61902333 \times 35 \text{ kg / ton}$$

$$E_{NOX}^1 = 21.66581667 \text{ kg/jam}$$

2. CO

$$E_{CO}^1 = S_{jk}(GT)_{t_{jklm}} \times F_{ijklm}$$

$$E_{CO}^1 = 0.61902333 \times 99 \text{ kg / ton}$$

$$E_{CO}^1 = 21.66581667 \text{ kg/jam}$$

3. CO₂

$$E_{CO2}^1 = S_{jk}(GT)_{t_{jklm}} \times F_{ijklm}$$

$$E_{CO2}^1 = 0.61902333 \times 32 \text{ kg / ton}$$

$$E_{CO2}^1 = 19.80875 \text{ kg/jam}$$

4. VOC

$$E_{voc}^1 = S_{jk}(GT)_{t_{jklm}} \times F_{ijklm}$$

$$E_{voc}^1 = 0.61902333 \times 23.1 \text{ kg / ton}$$

$$E_{CO}^1 = 14.299944 \text{ kg/jam}$$

5. SO_x

$$E_{SOx}^1 = S_{jk}(GT)_{t_{jklm}} \times F_{ijklm}$$

$$E_{SOx}^1 = 0.61902333 \times 60 \text{ kg / ton}$$

$$E_{CO}^1 = 37.1414 \text{ kg/jam}$$

6. PM

$$E_{PM}^1 = S_{jk}(GT)_{t_{jklm}} \times F_{ijklm}$$

$$E_{PM}^1 = 0.61902333 \times 1,2 \text{ kg / ton}$$

$$E_{PM}^1 = 7.42828 \text{ kg / jam}$$

Perhitungan Estimasi Permesinan bantu

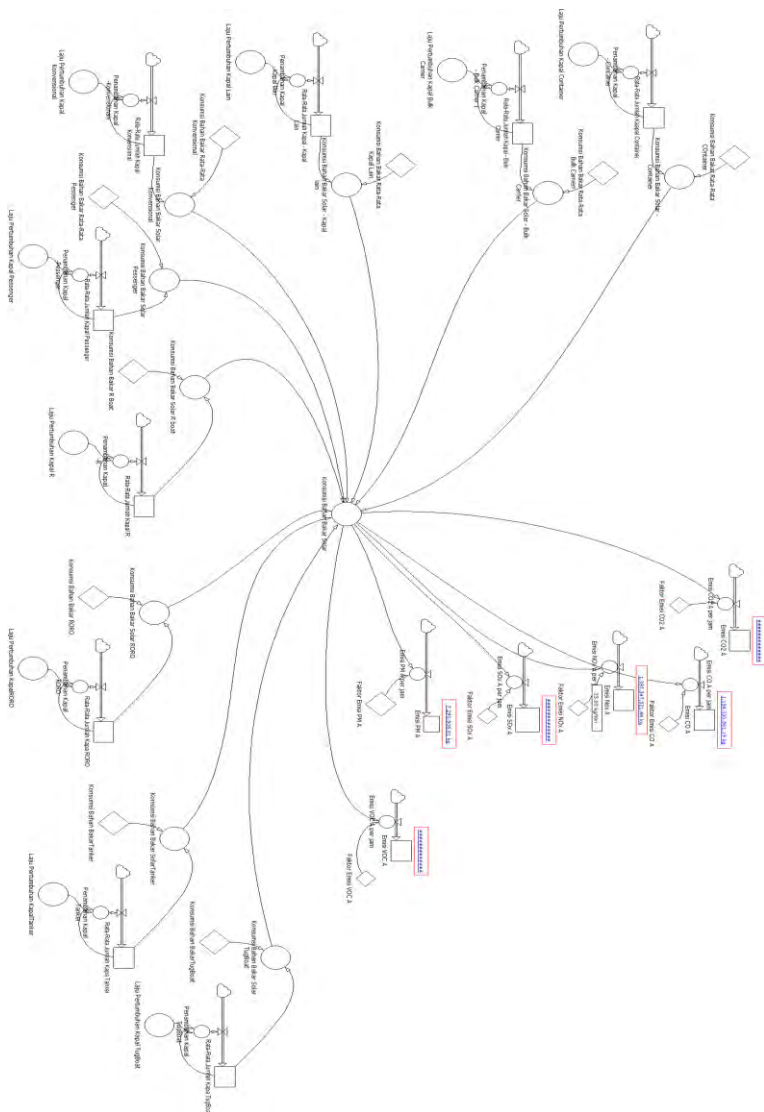
1. NO_x :

$$E_{NOX}^1 = S_{jk}(GT)_{t_{jklm}} \times F_{ijklm}$$

$$\begin{aligned}
 E_{\text{NOX}}^1 &= 0.087333992 \times 35 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{NOX}}^1 &= 3.056668971 \text{ kg/jam} \\
 \\
 2. \text{ CO} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= \text{Sjk(GT)}_{t_{\text{ijklm}}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 0.087333992 \times 99 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 8.64606518 \text{ kg/jam} \\
 \\
 3. \text{ CO}_2 \\
 E_{\text{CO}_2}^1 &= \text{Sjk(GT)}_{t_{\text{ijklm}}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{CO}_2}^1 &= 0.087333992 \times 32 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}_2}^1 &= 2.794687735 \text{ kg/jam} \\
 \\
 4. \text{ VOC} \\
 E_{\text{voc}}^1 &= \text{Sjk(GT)}_{t_{\text{ijklm}}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{voc}}^1 &= 0.087333992 \times 23.1 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 2.017415209 \text{ kg/jam} \\
 \\
 5. \text{ SOx} \\
 E_{\text{SOx}}^1 &= \text{Sjk(GT)}_{t_{\text{ijklm}}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{SOx}}^1 &= 0.087333992 \times 60 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 5.24004 \text{ kg/jam} \\
 \\
 6. \text{ PM} \\
 E_{\text{PM}}^1 &= \text{Sjk(GT)}_{t_{\text{ijklm}}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{PM}}^1 &= 0.087333992 \times 1,2 \\
 E_{\text{PM}}^1 &= 0.10480079
 \end{aligned}$$

4.2.3 Analisa Hasil Penghitungan Emisi pada Keadaan awal

Dari penghitungan menggunakan pendekatan metode *Trozzi* didapatkan hasil seperti berikut untuk pemodelan pada sepuluh tahun ke depan . Dari langkah-langkah perhitungan di atas, nilai dari polutan hasil pemodelan dengan menggunakan software *Powersim Studio 8* dapat diketahui.



Gambar 4. 3. Pemodelan Kondisi Awal pada Powersim

Tabel 4. 2. Hasil Pemodelan Penghitungan Emisi yang dihasilkan oleh Kapal untuk 10 tahun ke depan

TIME	EMISI PM	SO _x	CO	NO _x
Jan 1, 2017				
Jan 1, 2018	20.97	10,146.81	3,213.16	3,889.61
Jan 1, 2019	27.38	13,190.36	4,177.10	5,056.49
Jan 1, 2020	34.3	17,148.11	5,430.24	6,573.44
Jan 1, 2021	44.59	22,292.55	7,059.31	8,545.48
Jan 1, 2022	57.96	28,980.31	9,177.10	11,109.12
Jan 1, 2023	75.35	37,674.41	11,930.23	14,441.86
Jan 1, 2024	97.95	48,976.73	15,509.30	18,774.41
Jan 1, 2025	127.34	63,669.74	20,162.09	24,406.74
Jan 1, 2026	165.20	82,770.00	26,210.71	31,728.76
Jan 1, 2027	215.2	107,690	34073.93	41,247.38

Dari tabel 4.2 dapat diketahui bahwa hasil pemodelan dari penghitungan emisi untuk PM sebesar 20.29 kg/jam dalam pemodelan untuk tahun pertama., diikuti VOC sebesar 3,906.52 kg/jam, diikuti emisi untuk SO_x sebesar 10,146.81 kg/jam. Sedangkan untuk NO_x sebesar 3,889.61 kg/hr, CO sebesar 3,213 kg/jam dan 5,411.63 untuk CO₂ kg/ jam. Dari tabel tersebut diketahui juga untuk total emisi setiap gas untuk tahun berikutnya dengan laju pertumbuhan tertentu. Hasil dari pemodelan tersebut menunjukkan kenaikan tertentu seiring dengan bertambahnya jumlah kapal pada populasi tersebut. Hal ini akan berpengaruh dengan peraturan yang ada tentang pencemaran udara yang dihasilkan dari emisi gas buang populasi kapal yang ada di daerah tersebut

Dengan kondisi tersebut maka dapat dihitung konsentrasinya dengan persamaan

$$E = C \times Q$$

Dimana

E = beban emisi (mg/detik)

C = konsentrasi parameter gas buang (mg/m³)

Q = laju alir gas buang (m³/detik)

Sehingga didapatkan untuk 4 gas buang adalah sebagai berikut seperti pada tabel 4.3

Tabel 4. 3. Konsentrasi Emisi Gas Buang pada Kondisi Awal

TIME	Konsentrasi Gas Buang			
	PM	SOx	CO	NOx
Jan 1, 2017				
Jan 1,2018	17.0988258	22.98237	2619.9935	8.8099089
Jan 1, 2019	22.3255055	29.87597	3405.985	11.452875
Jan 1, 2020	27.9680365	38.84021	4427.7886	14.888744
Jan 1, 2021	36.3584475	50.49229	5756.1236	19.355385
Jan 1, 2022	47.260274	65.63997	7482.9583	25.161992
Jan 1, 2023	61.439987	85.33198	9727.8457	32.710598
Jan 1, 2024	79.87	110.9316	12646.2	42.52376
Jan 1, 2025	103.83	144.211	16440.06	55.280903
Jan 1, 2026	134.70	187.4728	21372.073	71.86517
Jan 1, 2027	175.472929	243.9162	27783.7	93.424703

Dari table 4.3 diketahui bahwa konsentrasi setiap gas dapat diketahui. Hal ini dapat menjadikan parameter terhadap kelayakan emsisi yang dikeluarkan berdasarkan standar yang ada. Jika dilihat dengan Baku Mutu yang ada maka kandungan emsisi parameter gas SOx tidak boleh beredar dengan gas yang

dikeluarkan seperti pada tanggal 1 Januari 2016 dan tahun berikutnya karena berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah

Tabel 4. 4. Kesesuaian Kondisi dengan Peraturan Menteri No. 12 Tahun 2010

TIME	EMISI PM	SO _x	CO	NO _x
Jan 1, 2017				
Jan 1, 2018	20.97	10,146.81	3,213.16	3,889.61
Jan 1, 2019	27.38	13,190.36	4,177.10	5,056.49
Jan 1, 2020	34.3	17,148.11	5,430.24	6,573.44
Jan 1, 2021	44.59	22,292.55	7,059.31	8,545.48
Jan 1, 2022	57.96	28,980.31	9,177.10	11,109.12
Jan 1, 2023	75.35	37,674.41	11,930.23	14,441.86
Jan 1, 2024	97.95	48,976.73	15,509.30	18,774.41
Jan 1, 2025	127.34	63,669.74	20,162.09	24,406.74
Jan 1, 2026	165.20	82,770.00	26,210.71	31,728.76
Jan 1, 2027	215.2	107,690	34073.93	41,247.38

Dari tabel tersebut diketahui bahwa dalam waktu tertentu dengan laju pertumbuhan tertentu maka populasi kapal tersebut dilarang untuk berlayar di daerah tersebut karena emisi gas buang yang dihasilkan tidak sesuai dengan baku mutu peraturan yang dikeluarkan oleh Menteri Lingkungan Hidup.

Kondisi tersebut dimulai pada pemodelan tahun 2012 atau padatahun ke 5 karena kandungan gas SO_x berada di atas standar yang ada sehingga dapat membahayakan atau menyebabkan pencemaran lingkungan di daerah tersebut. Selain

itu kandungan gas NO_x juga sudah melebihi batas standar yang ada sehingga kondisi ini perlu adanya rekomendasi untuk diganti dengan keadaan populasi kapal agar menghasilkan emisi yang tidak melebihi standar yang ada

4.3. Penghitungan Estimasi Bahan Bakar pada Kondisi Skenario 1

4.3.1 Penghitungan Estimasi Dual Fuel

Dalam penghitungan estimasi Dual Fuel ini diansumsikan dengan menggunakan perbandingan 70 : 30 unryuk bahan bakar gas dan minyak.

Penghitungan Skenario pertama ini merupakan tindak lanjut dari kondisi awal yang tidak memungkinkan untuk mempertahankan populasi kapal pada kondisi awal. Hal ini disebabkan oleh emisi gas buang yang dimodelkan untuk sepuluh tahun ke depan sangat tinggi sehingga dapat membahayakan lingkungan dan dapat mengganggu pernafasan pada manusia hingga mengakibatkan kematian. Sehingga diperlukan scenario pertama ini dengan memberikan kebijakan untuk 10 % dari populasi kapal tersebut.

Trozzy dalam penelitiannya (Trozzi, et al., 1998 ; 1999) menggunakan konsumsi bahan bakar mesin sehari-hari, sepeeti yang ditunjukkan pada tabel di atas dan emisi dihitung dengan memepertimbangkan faktor-faktor seperti mesin dan jenis bahan bakar dari setiap jenis bahan bakar. Konsumsi bahan bakar terhadap tonase kotor.

Selain itu, tingkat emisi yang diansumsikan seperti yang ditunjukkan seperti dalam persmaaan berikut

$$E_i = \sum_{jklm} E_{ijklm}$$

$$E_i = S_{jkm} (GT) t_{jklm} F_{ijklm}$$

Dari kapal yang masuk dalam data KSOP, diambil satu contoh penghitungan seperti :

Nama Kapal : SOUTHERN FALCON

Jenis kapal : Tanker

GT : 5.551 ton

Sehingga didapatkan konsumsi bahan bakar minyak dari kapal tersebut dengan menggunakan metode *Trozzi* adalah

Liquid Bulk	$C_{jk} = 14.685 + 0.0007 \times GT$
--------------------	--

$$\begin{aligned} C_{jk} &= 14.685 + 0.00007 (5.551) \\ &= 18.5707 \text{ ton/hari} \\ &= 0.773779167 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

C_{jk} adalah konsumsi bahan bakar untuk mesin utama pada tenaga penuh atau 100 % . namun dalam kasus ini, kapal diestimasi dalam kondisi *cruising* sehingga nilai C_{jk} berubah menjadi

$$\begin{aligned} S_{jk} (GT) &= C_{jk} \times 0.8 \\ &= 0.773779167 \times 0.8 \\ &= 0.61902333 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

4.3.2 Penghitungan Emisi Bahan Bakar Minyak

Perhitungan Estimasi Bahan bakar yaitu dengan menggunakan faktor emisi berbagai gas yang ada

1. NO_x :

$$\begin{aligned} E_{NOX}^1 &= S_{jk}(GT)t_{jklm} \times F_{ijklm} \\ E_{NOX}^1 &= 0.61902333 \times 35 \text{ kg / ton} \\ E_{NOX}^1 &= 21.66581667 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

2. CO

$$\begin{aligned} E_{CO}^1 &= S_{jk}(GT)t_{jklm} \times F_{ijklm} \\ E_{CO}^1 &= 0.61902333 \times 99 \text{ kg / ton} \\ E_{CO}^1 &= 21.66581667 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

3. CO₂

$$\begin{aligned}
 E_{\text{CO}_2}^1 &= \text{Sjk}(\text{GT})t_{\text{jklm}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{CO}_2}^1 &= 0.61902333 \times 32 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}_2}^1 &= 19.80875 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

4. VOC

$$\begin{aligned}
 E_{\text{voc}}^1 &= \text{Sjk}(\text{GT})t_{\text{jklm}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{voc}}^1 &= 0.61902333 \times 23.1 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 14.299944 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

5. SO_x

$$\begin{aligned}
 E_{\text{SO}_x}^1 &= \text{Sjk}(\text{GT})t_{\text{jklm}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{SO}_x}^1 &= 0.61902333 \times 60 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 37.1414 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

6. PM

$$\begin{aligned}
 E_{\text{PM}}^1 &= \text{Sjk}(\text{GT})t_{\text{jklm}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{PM}}^1 &= 0.61902333 \times 1,2 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{PM}}^1 &= 7.42828 \text{ kg / jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Estimasi Permesinan bantu

1. NO_x :

$$\begin{aligned}
 E_{\text{NO}_x}^1 &= \text{Sjk}(\text{GT})t_{\text{jklm}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{NO}_x}^1 &= 0.087333992 \times 35 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{NO}_x}^1 &= 3.056668971 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

2. CO

$$\begin{aligned}
 E_{\text{CO}}^1 &= \text{Sjk}(\text{GT})t_{\text{jklm}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 0.087333992 \times 99 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 8.64606518 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

3. CO₂

$$\begin{aligned}
 E_{\text{CO}_2}^1 &= \text{Sjk}(\text{GT})t_{\text{jklm}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{CO}_2}^1 &= 0.087333992 \times 32 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}_2}^1 &= 2.794687735 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

4. VOC

$$\begin{aligned}
 E_{\text{voc}}^1 &= \text{Sjk}(\text{GT})_{\text{t}_{\text{ijklm}}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{voc}}^1 &= 0.087333992 \times 23.1 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 2.017415209 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

5. SO_x

$$\begin{aligned}
 E_{\text{SOx}}^1 &= \text{Sjk}(\text{GT})_{\text{t}_{\text{ijklm}}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{SOx}}^1 &= 0.087333992 \times 60 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 5.24004 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

6. PM

$$\begin{aligned}
 E_{\text{PM}}^1 &= \text{Sjk}(\text{GT})_{\text{t}_{\text{ijklm}}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{PM}}^1 &= 0.087333992 \times 1,2 \\
 E_{\text{PM}}^1 &= 0.10480079
 \end{aligned}$$

4.3.3 Penghitungan Emisi Bahan Bakar

Penghitungan konsumsi Bahan Bakar Minyak dan gas

➤ 70 % Minyak

$$\begin{aligned}
 \text{Sjk (GT)} &= 70\% (\text{C}_{\text{jk}} \times 0.8) \\
 &= 50\% (0.773779167 \times 0.8) \\
 &= 0.309511667 \text{ ton/jam}
 \end{aligned}$$

➤ 70 % LNG



$$\begin{aligned}
 \text{Kg LNG} &= \frac{10^3 \text{ FC}_{\text{FO}} \times \text{LHV}_{\text{LNG}}}{\text{LHV}_{\text{FO}}} \\
 &= \frac{0.309511667 \times 10^3 \times 49.5}{41.6} \\
 &= 38.36345027 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

➤

$$\begin{aligned}
 \text{NO}_x &: \\
 E_{\text{NOX}}^1 &= \text{Sjk}(\text{GT})_{\text{t}_{\text{ijklm}}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{NOX}}^1 &= 0.309511667 \times 35 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{NOX}}^1 &= 10.83290833 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

➤ CO

$$\begin{aligned}
 E_{\text{CO}}^1 &= S_{jk}(\text{GT})_{t_{jklm}} \times F_{ijklm} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 0.309511667 \times 99 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 30.6417 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

➤ CO₂

$$\begin{aligned}
 E_{\text{CO}_2}^1 &= S_{jk}(\text{GT})_{t_{jklm}} \times F_{ijklm} \\
 E_{\text{CO}_2}^1 &= 0.309511667 \times 32 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}_2}^1 &= 9.904373 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

➤ VOC

$$\begin{aligned}
 E_{\text{voc}}^1 &= S_{jk}(\text{GT})_{t_{jklm}} \times F_{ijklm} \\
 E_{\text{voc}}^1 &= 0.309511667 \times 23.1 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 7.14972 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

➤ SO_x

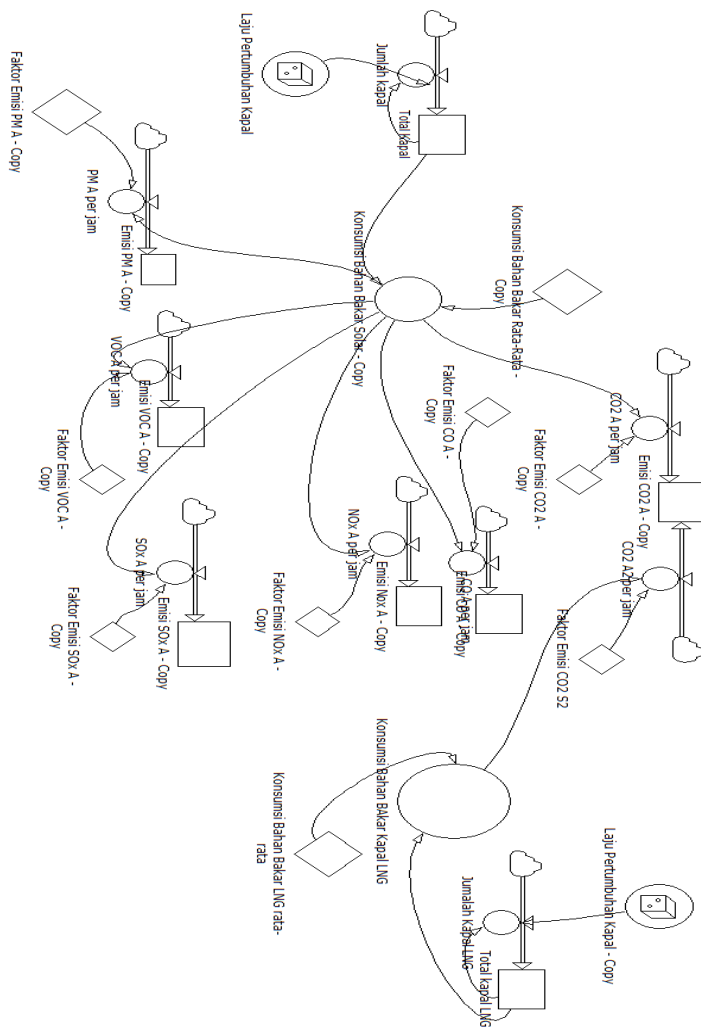
$$\begin{aligned}
 E_{\text{SO}_x}^1 &= S_{jk}(\text{GT})_{t_{jklm}} \times F_{ijklm} \\
 E_{\text{SO}_x}^1 &= 0.309511667 \times 60 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 18.5707 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

➤ PM

$$\begin{aligned}
 E_{\text{PM}}^1 &= S_{jk}(\text{GT})_{t_{jklm}} \times F_{ijklm} \\
 E_{\text{PM}}^1 &= 0.309511667 \times 1,2 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{PM}}^1 &= 3.71414 \text{ kg / jam}
 \end{aligned}$$

4.3.4 Analisa Hasil Penghitungan Emisi pada Keadaan awal

Dari penghitungan menggunakan pendekatan metode *Trozzi* didapatkan hasil seperti berikut untuk pemodelan pada sepuluh tahun ke depan . Dari langkah-langkah perhitungan di atas, nilai dari polutan hasil pemodelan dengan menggunakan software *Powersim Studio 8* dapat diketahui.



Gambar 4. 4. Pemodelan Skenario Pertama

Hasil Penghitungan dari pemodelan skenario pertama ini menghasilkan pemodelan untuk sepuluh tahun ke depan. Pemodelan ini dapat menghasilkan emisi gas buang dengan menggunakan dinamika sistem seperti yang ditampilkan pada tabel di bawah ini

Tabel 4. 5 Hasil Pemodelan Emisi Gas Buang Skenario Pertama

TIME	PM	SO _x	CO	NO _x
Jan 1, 2017				
Jan 1, 2018	15.47	7,736.77	2,449.98	2,965.76
Jan 1, 2019	22.02	11,008.29	3,485.96	4,219.85
Jan 1, 2020	28.33	14,166.45	4,486.04	5,430.47
Jan 1, 2021	35.64	17,818.80	5,642.62	6,830.54
Jan 1, 2022	40.93	20,464.51	6,480.43	7,844.73
Jan 1, 2023	49.34	24,670.56	7,812.34	9,457.05
Jan 1, 2024	46.44	23,218.95	7,352.67	8,900.60
Jan 1, 2025	48.84	24,421.66	7,733.52	9,361.64
Jan 1, 2026	60.32	30,159.99	9,550.66	11,561.33
Jan 1, 2027	84.87	42,435	13,437.75	16,266.75

Dari table 4.5 dapat diketahui bahwa hasil pemodelan dari penghitungan emisi untuk PM sebesar 15.47 kg/jam dalam pemodelan untuk tahun pertama., diikuti VOC sebesar 2,978.66 kg/jam, diikuti emisi untuk SO_x sebesar 7,736.77 kg/jam. Sedangkan untuk NO_x sebesar 2,965.76 kg/hr, CO sebesar 2.449 kg/jam dan 4,126.28 kg/ jam untuk CO₂. Dari tabel tersebut diketahui juga untuk total emisi setiap gas untuk tahun berikutnya dengan laju pertumbuhan tertentu. Hasil dari pemodelan tersebut menunjukkan kenaikan tertentu seiring dengan bertambahnya jumlah kapal pada populasi tersebut. Hal ini akan berpengaruh

dengan peraturan yang ada tentang pencemaran udara yang dihasilkan dari emisi gas buang populasi kapal yang ada di daerah tersebut

Dengan kondisi tersebut maka dapat dihitung konsentrasinya dengan persamaan

$$E = C \times Q$$

Dimana

E = beban emisi (mg/detik)

C = konsentrasi parameter gas buang (mg/m³)

Q = laju alir gas buang (m³/detik)

Sehingga didapatkan untuk 4 gas buang adalah sebagai berikut seperti pada table 4.8

Tabel 4. 6. Konsentrasi Emisi gas Buang Hasil Pemodelan Skenario 1

TIME	Konsentrasi Gas Buang			
	PM	SO _x	CO	NO _x
Jan 1, 2017				
Jan 1,2018	12.61	17.52	1997.70	6.72
Jan 1, 2019	17.95	24.93	2842.43	9.56
Jan 1, 2020	23.10	32.09	3657.89	12.30
Jan 1, 2021	29.06	40.36	4600.96	15.47
Jan 1, 2022	33.37	46.35	5284.11	17.77
Jan 1, 2023	40.23	55.88	6370.14	21.42
Jan 1, 2024	37.87	52.59	5995.33	20.16
Jan 1, 2025	39.82	55.31	6305.87	21.20
Jan 1, 2026	49.18	68.31	7787.56	26.19
Jan 1, 2027	69.20	96.11	10957.07	36.84

Dari table 4.8 diketahui bahwa konsentrasi setiap gas dapat diketahui. Hal ini dapat menjadikan parameter terhadap kelayakan emisi yang dikeluarkan berdasarkan standar yang ada. Jika dilihat dengan Baku Mutu yang ada maka kandungan emisi parameter gas SO_x tidak boleh beredar dengan gas yang dikeluarkan seperti pada tanggal 1 Januari 2016 dan tahun berikutnya karena berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah

Tabel 4. 7. Kondisi yang Tidak sesuai dengan Peraturan Menteri nomer 12 tahun 2010

TIME	EMISI PM	SO _x	CO	NO _x
Jan 1, 2017				
Jan 1, 2018	15.47	7,736.77	2,449.98	2,965.76
Jan 1, 2019	22.02	11,008.29	3,485.96	4,219.85
Jan 1, 2020	28.33	14,166.45	4,486.04	5,430.47
Jan 1, 2021	35.64	17,818.80	5,642.62	6,830.54
Jan 1, 2022	40.93	20,464.51	6,480.43	7,844.73
Jan 1, 2023	49.34	24,670.56	7,812.34	9,457.05
Jan 1, 2024	46.44	23,218.95	7,352.67	8,900.60
Jan 1, 2025	48.84	24,421.66	7,733.52	9,361.64
Jan 1, 2026	60.32	30,159.99	9,550.66	11,561.33
Jan 1, 2027	84.87	42,435	13,437.75	16,266.75

Dari tabel tersebut diketahui bahwa dalam waktu tertentu dengan laju pertumbuhan tertentu maka populasi kapal tersebut dilarang untuk berlayar di daerah tersebut karena emisi gas buang yang dihasilkan tidak sesuai dengan baku mutu peraturan yang dikeluarkan oleh Menteri Lingkungan Hidup.

Kondisi tersebut dimulai pada pemodelan tahun 2012 atau padatahun ke 5 karena kandungan gas SOx berada di atas standar yang ada sehingga dapat membahayakan atau menyebabkan pencemaran lingkungan di daerah tersebut. Selain itu kandungan gas NOx juga sudah melebihi batas standar yang ada sehingga kondisi ini perlu adanya rekomendasi untuk diganti dnegan keadaan populasi kapal agar menghasilkan emisi yang tidak melebihi standar yang ada

4.4 Penghitungan Estimasi Bahan Bakar pada Kondisi Skenario 2

4.4.1 Penghitungan Estimasi Dual Fuel

Dalam penghitungan estimasi Dual Fuel ini diansumsikan dengan menggunakan perbandingan 70 : 30 unryuk bahan bakar gas dan minyak. Penghitungan skenario kedua ini diperlukan karena hasil dari skenario pertama masih belum memenuhi peraturan yang mengatur emisi gas buang, sehingga diperlukan skenario berikutnya agar populasi kapal tersebut dapat bertahan dan menghasilkan emisi gas buang yang masih dalam batas yang diperbolehkan.

Perhitungan estimasi emisi dihitung berdasarkan standar metododlogi eropa (MEET), dimana perhitungan ini telah diterapkan oleh Trozzi et al. (Pitana et al., 2010 ; Trozzi, et al., 1998, Trozzi., et al., 1999). Estimasi emisi mempertimbangkan dua belas kapal yang mempunyai gross tonnage di atas 100 GT, data lainnya antara lainnya faktor emisi, dan spesifikasi parameter kapal seperti konsumsi bahan bakar, tipe mesin, dll

Selain itu, tingkat emisi yang diansumsikan seperti yang ditunjukkan seperti dalam persmaan berikut

$$E_i = \sum_{jklm} E_{ijklm}$$

$$E_i = S_{jkm} (GT) t_{jklm} F_{ijklm}$$

Dari kapal yang masuk dalam data KSOP, diambil satu contoh penghitungan seperti :

Nama Kapal : SOUTHERN FALCON
 Jenis kapal : Tanker
 GT : 5.551 ton

Sehingga didapatkan konsumsi bahan bakar minyak dari kapal tersebut dengan menggunakan metode *Trozzi* adaklah

Liquid Bulk	$C_{jk} = 14.685 + 0.0007 \times GT$
--------------------	--

$$\begin{aligned} C_{jk} &= 14.685 + 0.00007 (5.551) \\ &= 18.5707 \text{ ton/hari} \\ &= 0.773779167 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

C_{jk} adalah konsumsi bahan bakar untuk mesin utama pada tenaga penuh atau 100 % . namun dalam kasus ini, kapal diestimasi dalam kondisi *cruising* sehingga nilai C_{jk} berubah menjadi

$$\begin{aligned} S_{jk} (GT) &= C_{jk} \times 0.8 \\ &= 0.773779167 \times 0.8 \\ &= 0.61902333 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

4.4.2 Penghitungan Emisi Bahan Bakar Minyak

Perhitungan Estimasi Bahan bakar yaitu dengan menggunakan faktor emisi berbagai gas yang ada

a. NO_x :

$$\begin{aligned} E_{NO_x}^1 &= S_{jk}(GT)t_{jklm} \times F_{ijklm} \\ E_{NO_x}^1 &= 0.61902333 \times 35 \text{ kg / ton} \\ E_{NO_x}^1 &= 21.66581667 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

b. CO

$$\begin{aligned} E_{CO}^1 &= S_{jk}(GT)t_{jklm} \times F_{ijklm} \\ E_{CO}^1 &= 0.61902333 \times 99 \text{ kg / ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{CO}^1 &= 21.66581667 \text{ kg/jam} \\
 \text{c. } CO_2 & \\
 E_{CO_2}^1 &= Sjk(GT)t_{ijklm} \times F_{ijklm} \\
 E_{CO_2}^1 &= 0.61902333 \times 32 \text{ kg / ton} \\
 E_{CO_2}^1 &= 19.80875 \text{ kg/jam} \\
 \text{d. } VOC & \\
 E_{voc}^1 &= Sjk(GT)t_{ijklm} \times F_{ijklm} \\
 E_{voc}^1 &= 0.61902333 \times 23.1 \text{ kg / ton} \\
 E_{CO}^1 &= 14.299944 \text{ kg/jam} \\
 \text{e. } SO_x & \\
 E_{SO_x}^1 &= Sjk(GT)t_{ijklm} \times F_{ijklm} \\
 E_{SO_x}^1 &= 0.61902333 \times 60 \text{ kg / ton} \\
 E_{CO}^1 &= 37.1414 \text{ kg/jam} \\
 7. \text{ PM} & \\
 E_{PM}^1 &= Sjk(GT)t_{ijklm} \times F_{ijklm} \\
 E_{PM}^1 &= 0.61902333 \times 1,2 \text{ kg / ton} \\
 E_{PM}^1 &= 7.42828 \text{ kg / jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Estimasi Permesinan bantu

$$\begin{aligned}
 \text{a. } NO_x & : \\
 E_{NO_x}^1 &= Sjk(GT)t_{ijklm} \times F_{ijklm} \\
 E_{NO_x}^1 &= 0.087333992 \times 35 \text{ kg / ton} \\
 E_{NO_x}^1 &= 3.056668971 \text{ kg/jam} \\
 \text{b. } CO & \\
 E_{CO}^1 &= Sjk(GT)t_{ijklm} \times F_{ijklm} \\
 E_{CO}^1 &= 0.087333992 \times 99 \text{ kg / ton} \\
 E_{CO}^1 &= 8.64606518 \text{ kg/jam} \\
 \text{c. } CO_2 & \\
 E_{CO_2}^1 &= Sjk(GT)t_{ijklm} \times F_{ijklm} \\
 E_{CO_2}^1 &= 0.087333992 \times 32 \text{ kg / ton} \\
 E_{CO_2}^1 &= 2.794687735 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

d. VOC

$$\begin{aligned} E_{\text{voc}}^1 &= S_{jk}(\text{GT}) t_{jklm} \times F_{ijklm} \\ E_{\text{voc}}^1 &= 0.087333992 \times 23.1 \text{ kg / ton} \\ E_{\text{CO}}^1 &= 2.017415209 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

e. SO_x

$$\begin{aligned} E_{\text{SOx}}^1 &= S_{jk}(\text{GT}) t_{jklm} \times F_{ijklm} \\ E_{\text{SOx}}^1 &= 0.087333992 \times 60 \text{ kg / ton} \\ E_{\text{CO}}^1 &= 5.24004 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

f. PM

$$\begin{aligned} E_{\text{PM}}^1 &= S_{jk}(\text{GT}) t_{jklm} \times F_{ijklm} \\ E_{\text{PM}}^1 &= 0.087333992 \times 1,2 \\ E_{\text{PM}}^1 &= 0.10480079 \end{aligned}$$

4.4.3 Penghitungan Emisi Bahan bakar Minyak dan Gas

Penghitungan konsumsi Bahan Bakar Minyak dan gas

➤ 70 % Minyak

$$\begin{aligned} S_{jk}(\text{GT}) &= 70\% (C_{jk} \times 0.8) \\ &= 70\% (0.773779167 \times 0.8) \\ &= 0.309511667 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

➤ 50 % LNG



$$\begin{aligned} \text{Kg LNG} &= \frac{10^3 \text{ FC}_{\text{FO}} \times \text{LHV}_{\text{LNG}}}{\text{LHV}_{\text{FO}}} \\ &= \frac{0.309511667 \times 10^3 \times 49.5}{41.6} \\ &= 38.36345027 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

➤ NO_x :

$$E_{\text{NOx}}^1 = S_{jk}(\text{GT}) t_{jklm} \times F_{ijklm}$$

$$\begin{aligned}
 E_{\text{NOX}}^1 &= 0.309511667 \times 35 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{NOX}}^1 &= 10.83290833 \text{ kg/jam} \\
 \text{➤ CO} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= \text{Sjk(GT)}_{\text{t}_{\text{ijklm}}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 0.309511667 \times 99 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 30.6417 \text{ kg/jam} \\
 \text{➤ CO}_2 \\
 E_{\text{CO}_2}^1 &= \text{Sjk(GT)}_{\text{t}_{\text{ijklm}}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{CO}_2}^1 &= 0.309511667 \times 32 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}_2}^1 &= 9.904373 \text{ kg/jam} \\
 \text{➤ VOC} \\
 E_{\text{voc}}^1 &= \text{Sjk(GT)}_{\text{t}_{\text{ijklm}}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{voc}}^1 &= 0.309511667 \times 23.1 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 7.14972 \text{ kg/jam} \\
 \text{➤ SOx} \\
 E_{\text{SOx}}^1 &= \text{Sjk(GT)}_{\text{t}_{\text{ijklm}}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{SOx}}^1 &= 0.309511667 \times 60 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{CO}}^1 &= 18.5707 \text{ kg/jam} \\
 \text{➤ PM} \\
 E_{\text{PM}}^1 &= \text{Sjk(GT)}_{\text{t}_{\text{ijklm}}} \times F_{\text{ijklm}} \\
 E_{\text{PM}}^1 &= 0.309511667 \times 1,2 \text{ kg / ton} \\
 E_{\text{PM}}^1 &= 3.71414 \text{ kg / jam}
 \end{aligned}$$

4.4.4 Analisa Hasil Penghitungan Emisi pada Skenario Kedua

Dari penghitungan menggunakan pendekatan metode *Trozzi* didapatkan hasil seperti berikut untuk pemodelan pada sepuluh tahun ke depan . Dari langkah-langkah perhitungan di atas, nilai dari polutan hasil pemodelan dengan menggunakan software *Powersim Studio* 8 dapat diketahui.

Gambar 4. 5. Pemodelan Skenario Kedua

Pada sub bab ini akan ditampilkan hasil pemodelan dari penghitungan emisi pada table 4.8

Tabel 4. 8. Hasil Pemodelan Penghitungan emisi Skenario kedua

TIME	EMISI PM	SO _x	CO	NO _x
Jan 1, 2017				
Jan 1,2018	10.77	5,386.81	1,705.82	2,064.95
Jan 1, 2019	15.33	7,664.65	2,427.14	2,938.12
Jan 1, 2020	19.73	9,863.55	3,123.46	3,781.03
Jan 1, 2021	24.81	12,406.55	3,928.74	4,755.84
Jan 1, 2022	28.5	14,248.66	4,512.07	5,461.98
Jan 1, 2023	34.35	17,177.16	5,439.43	6,584.58
Jan 1, 2024	32.33	16,166.47	5,119.38	6,197.15
Jan 1, 2025	34.01	17,003.86	5,384.56	6,518.15
Jan 1, 2026	42.00	20,999.25	6,649.76	8,049.71
Jan 1, 2027	59.09	29,546	9,356.19	11,325.91

Dari table 4.8 dapat diketahui bahwa hasil pemodelan dari penghitungan emisi untuk PM sebesar 10.7 kg/jam dalam pemodelan untuk tahun pertama., diikuti VOC sebesar 2,978.66 kg/jam, diikuti emisi untuk SO_x sebesar 7,736.77 kg/jam. Sedangkan untuk NO_x sebesar 2,965.76 kg/hr, CO sebesar 2.449 kg/jam dan 4,126.28 kg/ jam untuk CO₂. Dari tabel tersebut diketahui juga untuk total emisi setiap gas untuk tahun berikutnya dengan laju pertumbuhan tertentu.

Hasil dari pemodelan tersebut menunjukkan kenaikan tertentu seiring dengan bertambahnya jumlah kapal pada populasi tersebut. Hal ini akan berpengaruh dengan peraturan yang ada

tentang pencemaran udara yang dihasilkan dari emisi gas buang populasi kapal yang ada di daerah tersebut

Dengan kondisi tersebut maka dapat dihitung konsentrasinya dengan persamaan

$$E = C \times Q$$

Dimana

E = beban emisi (mg/detik)

C = konsentrasi parameter gas buang (mg/m³)

Q = laju alir gas buang (m³/detik)

Sehingga didapatkan untuk 4 gas buang adalah sebagai berikut seperti pada table 4.11

Tabel 4. 9. Konsentrasi Emisi Gas Buang pada Kondisi Skenario kedua

TIME	Konsentrasi Gas Buang			
	PM	SOx	CO	NOx
Jan 1, 2017				
Jan 1, 2018	8.78	12.20	1390.92	4.68
Jan 1, 2019	12.50	17.36	1979.08	6.65
Jan 1, 2020	16.09	22.34	2546.85	8.56
Jan 1, 2021	20.23	28.10	3203.47	10.77
Jan 1, 2022	23.24	32.27	3679.12	12.37
Jan 1, 2023	28.01	38.91	4435.28	14.91
Jan 1, 2024	26.36	36.62	4174.32	14.04
Jan 1, 2025	27.73	38.51	4390.54	14.76
Jan 1, 2026	34.25	47.56	5422.18	18.23
Jan 1, 2027	48.18	66.92	7628.99	25.65

Dari tabel 4.11 diketahui bahwa konsentrasi setiap gas dapat diketahui. Hal ini dapat menjadikan parameter terhadap kelayakan emisi yang dikeluarkan berdasarkan standar yang ada. Jika dilihat dengan Baku Mutu yang ada maka kandungan emisi parameter gas SO_x tidak boleh beredar dengan gas yang dikeluarkan seperti pada tanggal 1 Januari 2016 dan tahun berikutnya karena berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah

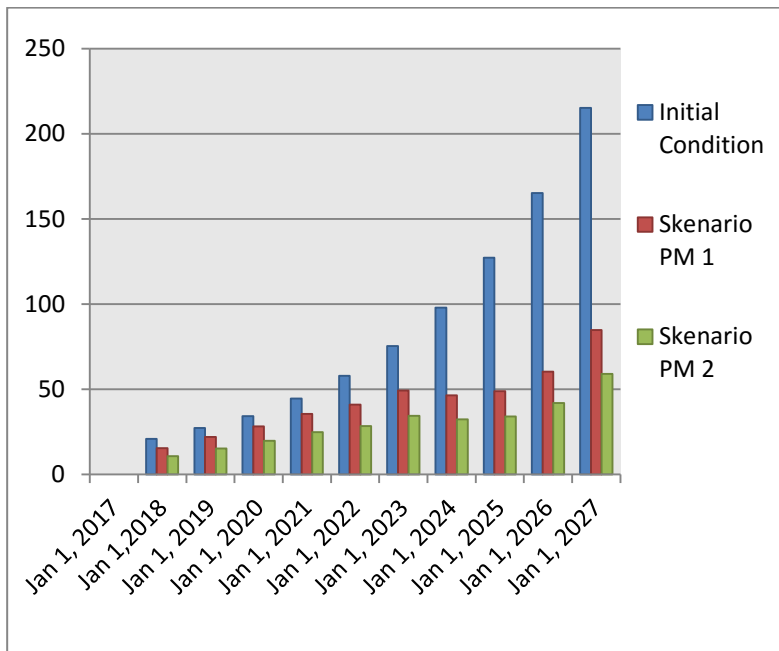
Tabel 4. 10. Kesesuaian Pemodelan Skenario Kedua dengan Peraturan Menteri Nomer 12 tahun 2010

TIME	EMISI PM	SO _x	CO	NO _x
Jan 1, 2017				
Jan 1, 2018	10.77	5,386.81	1,705.82	2,064.95
Jan 1, 2019	15.33	7,664.65	2,427.14	2,938.12
Jan 1, 2020	19.73	9,863.55	3,123.46	3,781.03
Jan 1, 2021	24.81	12,406.55	3,928.74	4,755.84
Jan 1, 2022	28.5	14,248.66	4,512.07	5,461.98
Jan 1, 2023	34.35	17,177.16	5,439.43	6,584.58
Jan 1, 2024	32.33	16,166.47	5,119.38	6,197.15
Jan 1, 2025	34.01	17,003.86	5,384.56	6,518.15
Jan 1, 2026	42.00	20,999.25	6,649.76	8,049.71
Jan 1, 2027	59.09	29,546	9,356.19	11,325.91

Dari tabel tersebut diketahui bahwa dalam waktu tertentu dengan laju pertumbuhan tertentu maka populasi kapal tersebut dilarang untuk berlayar di daerah tersebut karena emisi gas buang yang dihasilkan tidak sesuai dengan baku mutu peraturan yang dikeluarkan oleh Menteri Lingkungan Hidup.

4.5 Analisa Perbandingan Kondisi awal dan Skenario

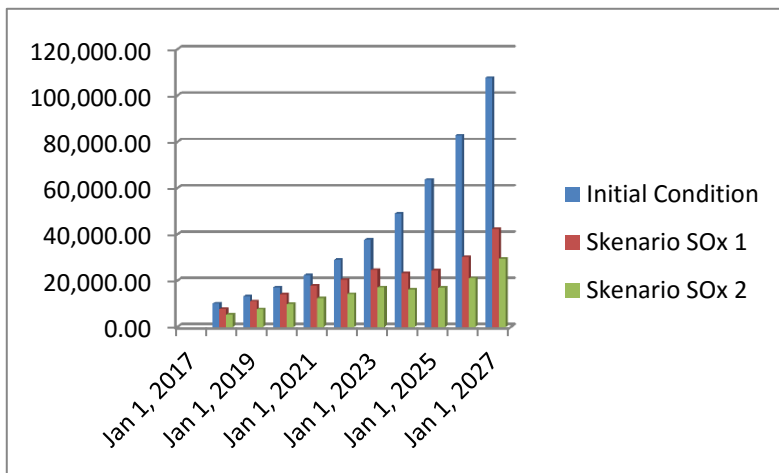
Pada bagian ini tentunya dengan hasil pemodelan dari kondisi awal, skenario pertama dan skenario kedua menunjukkan adanya perbandingan yang signifikan tentang emisi gas buang yang dihasilkan oleh populasi kapal tersebut. Hal ini dapat dilihat dari Emisi gas buang masing-masing gas yang dihasilkan oleh populasi kapal tersebut melalui pemodelan dinamika system.



Gambar 4. 6. Perbandingan Emsisi PM yang dihasilkan pada berbagai kondisi

Dari gambar 4.6 tersebut dapat diketahui bahwa adanya penurunan yang jauh sering dengan bertambahnya tahun. Pada kondisi awal di tahun 2027, kandungan PM pada emisi gas buang menunjukkan nilai lebih dari 200 kg/hr. Hal ini sangat terpaut

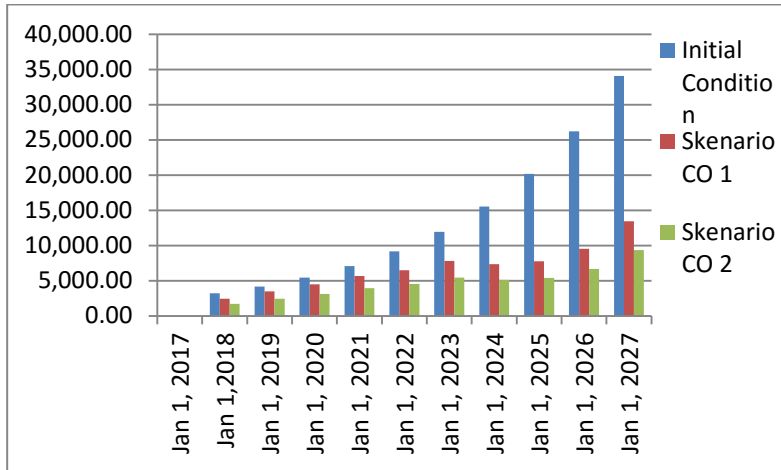
jauh dengan kondisi skenario pertama yang berada tidak mencapai 100 kg/hr. Hal ini disebabkan pada pembakaran pada LNG yang digunakan pada penggantian bahan bakar pada beberapa kapal tidak menghasilkan PM sehingga kandungan PM semakin banyak kapal yang menggunakan LNG sebagai bahan bakar maka hasilnya akan semakin turun



Gambar 4. 7. Perbandingan Emsisi SOx yang dihasilkan pada berbagai kondisi

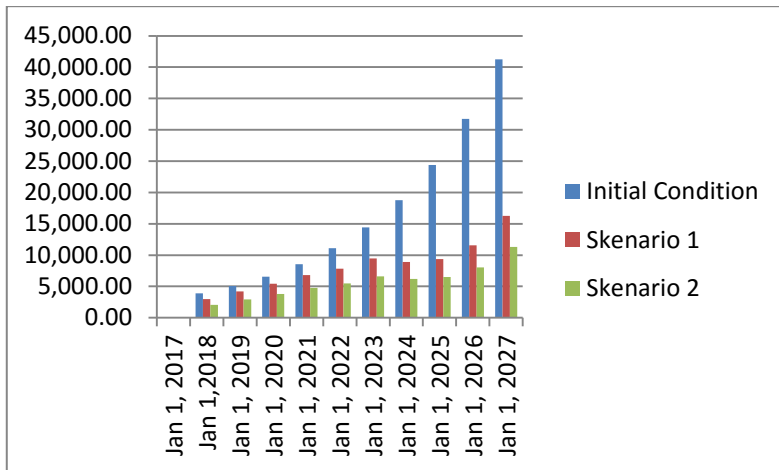
Dari gambar 4.7 tersebut dapat diketahui bahwa adanya penurunan yang jauh sering dengan bertambahnya tahun. Pada kondisi awal di tahun 2027, kandungan SOx pada emisi gas buang menunjukkan nilai lebih dari 100.000 kg/hr. Hal ini sangat terpaut jauh dengan kondisi skenario pertama yang berada tidak mencapai 40,000 kg/hr. Hal ini disebabkan pada pembakaran pada LNG yang digunakan pada penggantian bahan bakar pada beberapa kapal tidak menghasilkan SOx sehingga kandungan

SOx semakin banyak kapal yang menggunakan LNG sebagai bahan bakar maka hasilnya akan semakin turun



Gambar 4. 8. Perbandingan Emsisi CO yang dihasilkan pada berbagai kondisi

Emsisi gas buang yang dihasilkan berdasarkan gambar di atas dapat diketahui bahwa adanya penurunan yang jauh sering dengan bertambahnya tahun. Pada kondisi awal di tahun 2027, kandungan CO pada emisi gas buang menunjukkan nilai lebih dari 30,000 kg/hr. Hal ini sangat terpaut jauh dengan kondisi skenario pertama yang berada tidak mencapai 10,000 kg/hr. Pembakaran pada LNG yang digunakan pada penggantian bahan bakar pada beberapa kapal yang diterapkan pada skenario kedua tidak menghasilkan CO sehingga kandungan CO semakin banyak kapal yang menggunakan LNG sebagai bahan bakar maka hasilnya akan semakin turun



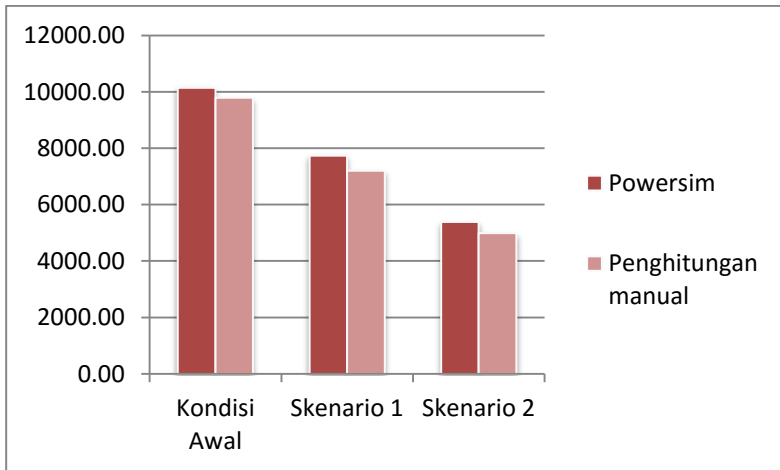
Gambar 4. 9. Perbandingan Emsisi NOx yang dihasilkan pada berbagai kondisi

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa adanya penurunan yang jauh sering dengan bertambahnya tahun. Pada kondisi awal di tahun 2027, kandungan PM pada emisi gas buang menunjukkan nilai lebih dari 45,000 kg/hr. Hal ini sangat terpaut jauh dengan kondisi skenario pertama yang berada tidak mencapai 15,000 kg/hr. Hal ini disebabkan pada pembakaran pada LNG yang digunakan pada penggantian bahan bakar pada beberapa kapal tidak menghasilkan NOx sehingga kandungan NOx semakin banyak kapal yang menggunakan LNG sebagai bahan bakar maka hasilnya akan semakin turun.

4.6 Validasi Pemodelan

Validitas instrumen berhubungan dengan kesesuaian dan ketepatan fungsi alat ukur yang digunakannya. Pemodelan menggunakan software Powersim dihitung untuk mendapatkan

emisi Gas Buang dari Pemodelan tersebut. Sedangkan perbandingannya dengan menggunakan penghitungan manual sehingga didapatkan perbandingan untuk mencari nilai emisi gas buang yang dihasilkan antara *powersim* dan penghitungan manual



Gambar 4. 10. Perbandingan Penghitungan Powersim dengan Penghitungan Manual untuk Proses Validasi Pemodelan

Dari gambar di atas didapatkan bahwa penghitungan melalui software dan penghitungan manual menunjukkan selisih sebesar 4-6 % dari penghitungan menggunakan *software Powersim*.

LAMPIRAN A

Data Kapal yang digunakan

NO	NAMA KAPAL	TIPE	GT
1	PETRO OCEAN VIII MT	T	964
2	KIRANA IX	RO	9,168
3	PACIFIC JASMINE	KV	15,243
4	SOUTHERN FALCON	T	5,551
5	MY HUNG	KV	4,089
6	CSCL SAO PAULO	C	26,404
7	UNION STAR 47	KV	1,487
8	KMTC PORTKELANG	C	20,815
9	HAMMONIA GALLICUM	C	29,383
10	AYA 3	C	2,587
11	MSC HINA	C	23,540
12	WAN HAI 216	C	17,138
13	ITHA BHUM	C	15,533
14	RUBINA SCHULTE	C	28,927
15	FEDERAL TWEED	KV	31,590
16	RHODOS	B	33,280
17	OXYGEN	B	31,284
18	KIRAN MARMARA	B	36,353
19	THAI LOTUS	KV	9,004
20	SOYA MAY	B	48,090
21	MT THINH	B	8,414
22	TASANEE	C	27,779
23	KINTAMANI	C	1,858
24	HARMONI SELATAN	T	206
25	LOTUS 07	C	663

26	CATTLEYA	C	649
27	ORBIT SELATAN	T	319
28	MITRA KENDARI	C	5,999
29	GESIT	KL	106
30	WINPOSH RESOLVE	KL	2,588
31	NEW LIGHT	C	3,810
32	DANDELION	C	1,305
33	BUNGA TERATAI XXV	KV	1,244
34	BESTLINK 88	KL	242
35	MARITIM TRANS	C	2,627
36	BINTANG JASA 33	C	3,818
37	TIGA RODA	B	6,870
38	CIPTA HARAPAN 89	KL	740
39	BEVERLY	C	3,951
40	JOHAN JAYA 127	TB	225
41	FATIMA	C	4,369
42	KABONGA BARU	C	1,128
43	CIPTA ANYER	T	1,992
44	SURFER 2610	KL	128
45	PUMA 7	TK	3,071
46	PUMA 5	TB	150
47	ANUGERAH BUANA VIII	KV	2,193
48	SUKARIA	TIS	490
49	NAPOLEON 001	TK	2,026
50	MKM 1501	TB	135
51	IRIS MANDIRI	KL	961
52	TANTO PERMAI	C	9,179
53	TANTO CERIA	C	3,462
54	TANTO HAWARI	C	3,666

55	TANTO HANDAL	C	3,814
56	TANTO TERANG	C	9,380
57	PEKAN FAJAR	C	4,324
58	PRATIWI SATU	C	4,324
59	PULAU NUNUKAN	C	6,338
60	MAGELAN	C	2,996
61	TELUK BERAU	C	4,374
62	PAHALA	C	2,996
63	ORIENTAL PASIFIC	C	6,088
64	ORIENTAL SILVER	C	13,090
65	LUZON	C	12,029
66	ARMADA PAPUA	C	9,603
67	BAKTI I	T	749
68	TRANS PACIFIC 19	TB	2,780
69	INDO OCEAN MARINE 19	TK	158
70	TRANS PACIFIC 19	TB	158
71	PETRO OCEAN XVI	T	423
72	SAKURA 09	C	1,428
73	MENTARI EXPRESS	C	2,993
74	ELEGENCE	C	2,486
75	SAVIOUR	C	4,909
76	PROSPERO 9	KL	498
77	INTAN DAYA 12	KV	5,492
78	LAKSAMANA M ZAIN 88	TB	189
79	HAADIYJAH NUR	T	499
80	SELAMAT 9	TK	3,107
81	SYUKUR 15	TB	207
82	ITA LESTARI V	TB	139
83	KAHURIPAN 302	TK	2,089

84	SURYA PERKASA 302	TB	122
85	BERKAT LESTARI	T	1,128
86	M B S 16	TK	1,613
87	KENCANA MAKMUR	TB	114
88	ASIA PRIMA I	C	652
89	ANAK LAUT 3	TK	1,309
90	FALCON 21	TB	109
91	ANOMAN IV	TB	238
92	TRANSINDO I	KL	498
93	SHITA GIRI NUSA	KV	1,152
94	SJW TRANS	KV	2,812
95	GIGATT 2011	TK	1,292
96	HOSANA II	TB	112
97	SINAR PADANG	C	2,705
98	SHORYU 79	KV	1,475
99	SRIKANDI	T	2,670
100	AMRTA JAYA I	KV	5,477
101	BONNY STAR	C	4,136
102	PANTO KRATOR	P	5,920
103	SINAR JEPARA	C	4,632
104	LESTARI 3005	TK	3,090
105	ADMIRAL AMIR 2	KL	689
106	VISION GLOBAL	KV	6,635
107	AYU 118	KL	2,369
108	P S B - VI	TK	2,648
109	WAHANA I	TB	156
110	BINTANG SAMUDERA I	KL	529
111	AQUA STAR	KV	655
112	OMS. SEMERU	KV	7,203

113	MAJU JAYA	KL	629
114	C J N III - 14	C	3,257
115	DEWI BULAN II	KV	1,675
116	CAKALANG	P	1,483
117	GALATIA 05	KV	2,854
118	SAMUDERA MAS	C	2,993
119	SAMUDERA MAS	C	2,993
120	KANAL MAS	C	6,640
121	AHMAD JABBAR MT	T	686
122	SUMBER KENCANA VI	TK	1,493
123	MITRA KENCANA IV	TB	149
124	TIMUR 12	TK	2,013
125	TRANS 58	TB	149
126	AYU 68	KL	446
127	SEJAHTERA MAKMUR VII	TK	2,056
128	PRATAMA VII	TB	188
129	SAMUDERA SINDO 38	T	1,002
130	CLARITY 08	KV	4,634
131	PETRO MARINE 128	T	2,189
132	KHARISMA SELATAN	T	314
133	IJEN	KV	7,302
134	HIJAU SEGAR	C	7,455
135	HIJAU TERANG	C	7,455
136	RAJA ENGGANO	P	783
137	ADYA VII	TK	643
138	LUMBA LUMBA	TB	63
139	TIKALA	C	1,819
140	N R S VI	TK	1,623
141	N R S V	TB	199

142	GRAND SHIP	KV	972
143	MERATUS BENOA	C	3,668
144	MERATUS BARITO	C	3,668
145	MUSI RIVER	C	5,104
146	TERRITORY TRADER	C	2,825
147	MERATUS BONTANG	C	3,668
148	MERATUS MEDAN 1	C	13,853
149	MERATUS BARITO	C	3,668
150	MENTAYA RIVER	C	4,152
151	MERATUS KALABAHI	C	8,023
152	DEWI SAMUDERA III	KV	1,139
153	MERATUS PROJECT 1	C	4,447
154	RED ROVER	C	4,559
155	RED ROCK	C	4,447
156	NAVIGATOR GLOBAL	T	16822
157	BUMI INDONESIA	T	5183
158	MAIDEN ALPHA	T	9959
159	HIPPO	T	29111
160	MAUHAU	T	2938
161	TRIHANDAL 23	KV	786
162	PRIMAX	KV	567
163	LINTAS ARMADA NUSANTARA	KV	740
164	KARYA NIAGA	KV	721
165	ARWANA	KV	403
166	MITRA BERSAMA 1	KV	721
167	LEGA NIAGA	KV	826
168	SHINTOMARU	KV	497
169	MAKMUR 8	KV	662

170	PERMATA INDAH	KV	717
171	USAHA ABADI	KV	389
172	TALIAMAN	KV	494
173	KAMBERRA	KV	494
174	KYOKOMARU	KV	498
175	MULTI NIAGA 8	KV	679
176	MITRA ABADI	KV	375
177	ASIA PASIFIK	KV	665
178	SENJA PERSADA	KV	515
179	NARITA	KV	500
180	SAAPPORO	KV	678
181	KENARI XII	KV	423
182	IDOLA KITA	KV	1089
183	KANNON STAR	KV	481
184	NIGATA	KV	646
185	BUNGA HAERUL UTAMA	R	103
186	TERKA ABADI	R	149
187	DUTA PERSADA	R	144
188	TRISENDRA PRATIWI	R	173
189	RAHMAD SETIA	R	294
190	BINTANG SAMUDRA	R	172
191	CAKRA INDAH 3	R	148
192	DUTA MULYA	R	199
193	MAYANG SARI	R	148
194	ALAM MAKMUR	R	109
195	GAMAYA NIRMALA 2	R	102
196	HASIL KARYA BERSAMA	R	105
197	HARAPAN INDAH	R	102
198	USAHA BERSAMA	R	140

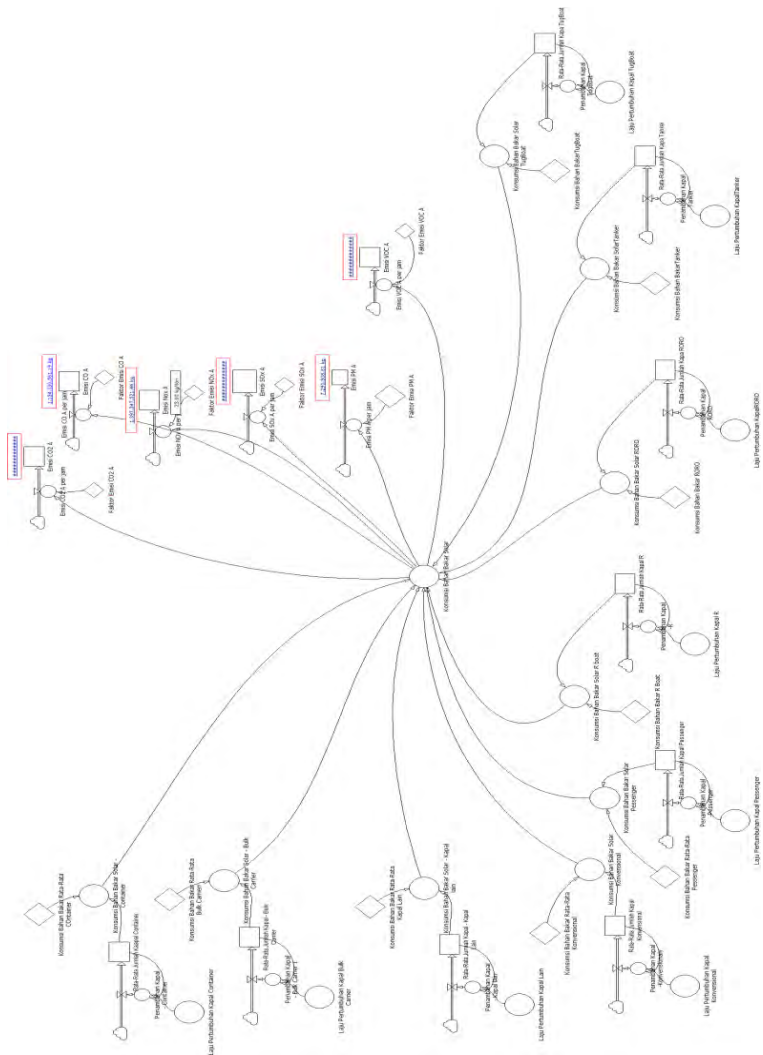
199	NUSA BERLIAN	R	147
200	PESONA BAHARI	R	162
201	CITRA BAHARI	R	162
202	BINAIYA	P	6,022
203	DOROLONDA	P	14,685
204	MUTIARA PERSADA III	RO	15,380
205	MAHKOTA NUSANTARA	RO	7,570
206	SATYA KENCANA III	RO	2,825
207	DHARMA KENCANA III	RO	2,510
208	DHARMA KENCANA VIII	RO	5,257
209	KUMALA	RO	5,764
210	MAHKOTA NUSANTARA	RO	7,570
211	SATYA KENCANA III	RO	2,825
212	DHARMA KENCANA III	RO	2,510
213	DHARMA KENCANA VIII	RO	5,257
214	KUMALA	RO	5,764
215	JOY	KL	298
216	SHINEI	KV	1,605
217	ILE MANDIRI	P	533
218	BAGUS SELATAN	T	711
219	PULAU WETAR	C	6,285
220	PARNA BERLIAN 2	KV	7,158
221	MERATUS PADANG	C	4,476
222	MERATUS MAMIRI	C	11,964
223	MERATUS AMBON	C	7,197
224	MATARAM EXPRESS	C	3,790
225	MARINA STAR 2	C	10,012
226	MERATUS KAPUAS	C	6,621
227	MERATUS PROGRESS 1	C	4,476

228	MERATUS KALABAH	C	8,023
229	MERATUS SIBOLGA	C	3,256
230	MUSI RIVER	C	5,104
231	MERATUS BATAM	C	9,993
232	MERATUS BENOA	C	3,668
233	MERATUS BONTANG	C	3,668
234	MERATUS MEDAN 1	C	13,853
235	RED ROVER	C	4,559
236	RELIANCE	C	4,489
237	ROKAN LESTARI	KV	648
238	NADELYN . K	KV	700
239	PERMATA INADAH	KV	717
240	MITRA BERSAMA	KV	593
241	CITRA SARANA	KV	651
242	IGUANA	KV	626
243	MIYAJIMA	KV	604
244	BINA SETIA . III	KV	416
245	SAM - I	KV	612
246	TRIJAYA ABADI	KV	1108
247	EIKAN	KV	623
248	SAMUDRA ABADI VIII	KV	560
249	KAMBERRA	KV	494
250	SAMUDRA PERKASA 8	KV	613
251	BUTA KENCANA	R	244
252	BINTANG ANGGRAINY	R	130
253	SURGA MULYA III	R	149
254	FACER MAS	R	140
255	TRISENDRA PRATIWI	R	173
256	MAJU BERSAMA	R	109

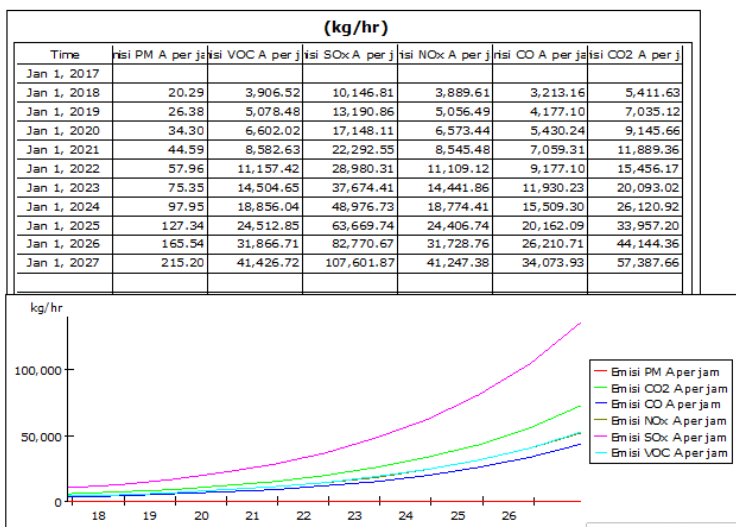
257	SAHABAT MAJU	R	11
258	USAHA BERSAMA	R	140
259	HASIL KARYA	R	62
260	BUDI MAKMUR	R	35
261	MADHANI	R	249
262	DUTA PERSADA	R	144
263	ARAYA JAYA - II	R	147
264	CAHAYA IMAN	R	66

LAMPIRAN B

Pemodelan Kondisi Awal



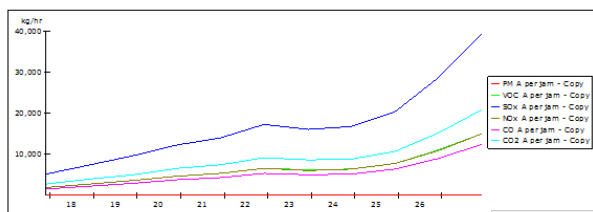
Hasil Pemodelan Kondisi Awal



Hasil Pemodelan Skenario 1

(kg/hr)							
Time	A per jam - Co	C A per jam - Co	b A per jam - Co	Ox A per jam - Co	A per jam - Co	2 A per jam - C	A2 per jam -
Jan 1, 2017							
Jan 1, 2018	10.77	2,073.92	5,386.81	2,064.95	1,705.82	2,872.97	1,989.09
Jan 1, 2019	15.33	2,950.89	7,664.65	2,938.12	2,427.14	4,087.81	2,830.19
Jan 1, 2020	19.73	3,797.47	9,863.55	3,781.03	3,123.46	5,260.56	3,642.14
Jan 1, 2021	24.81	4,776.52	12,406.55	4,755.84	3,928.74	6,616.83	4,581.14
Jan 1, 2022	28.50	5,485.73	14,248.66	5,461.98	4,512.07	7,599.28	5,261.35
Jan 1, 2023	34.35	6,613.21	17,177.16	6,584.58	5,439.43	9,161.15	6,342.70
Jan 1, 2024	32.33	6,224.09	16,166.47	6,197.15	5,119.38	8,622.12	5,969.50
Jan 1, 2025	34.01	6,546.49	17,003.86	6,518.15	5,384.56	9,068.73	6,278.71
Jan 1, 2026	42.00	8,084.71	20,999.25	8,049.71	6,649.76	11,199.60	7,754.02
Jan 1, 2027	59.09	11,375.16	29,545.86	11,325.91	9,356.19	15,757.79	10,909.87

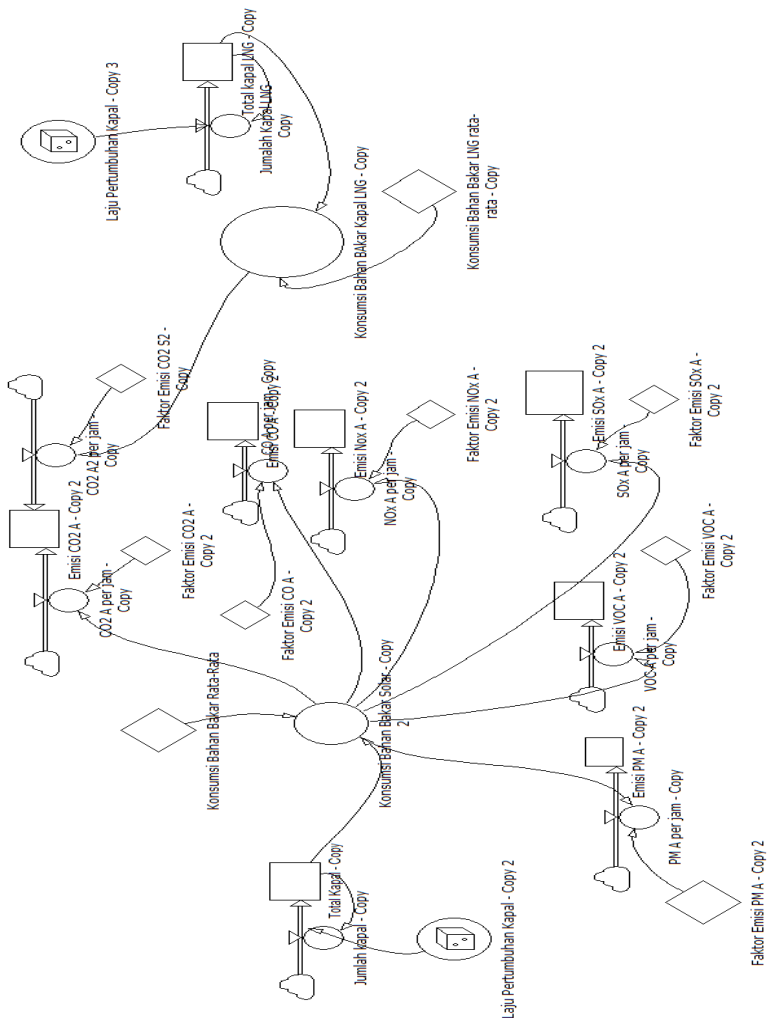
(Unit: kilogram per jam)



22

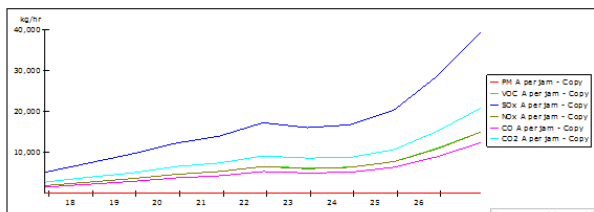
(Unit: kilogram per jam)

Pemodelan Skenario II



Hasil Pemodelan Skenario II

(kg/hr)							
Time	A per jam - Co	A per jam - Co	A per jam - Co	A per jam - Co	A per jam - Co	A per jam - Co	A2 per jam -
Jan 1, 2017							
Jan 1, 2018	10.77	2,073.92	5,386.81	2,064.95	1,705.82	2,872.97	1,989.09
Jan 1, 2019	15.33	2,950.89	7,664.65	2,938.12	2,427.14	4,087.81	2,830.19
Jan 1, 2020	19.73	3,797.47	9,863.55	3,781.03	3,123.46	5,260.56	3,642.14
Jan 1, 2021	24.81	4,776.52	12,406.55	4,755.84	3,928.74	6,616.83	4,581.14
Jan 1, 2022	28.50	5,485.73	14,248.66	5,461.98	4,512.07	7,599.28	5,261.35
Jan 1, 2023	34.35	6,613.21	17,177.16	6,584.58	5,439.43	9,161.15	6,342.70
Jan 1, 2024	32.33	6,224.09	16,166.47	6,197.15	5,119.38	8,622.12	5,969.50
Jan 1, 2025	34.01	6,546.49	17,003.86	6,518.15	5,384.56	9,068.73	6,278.71
Jan 1, 2026	42.00	8,084.71	20,999.25	8,049.71	6,649.76	11,199.60	7,754.02
Jan 1, 2027	59.09	11,375.16	29,545.86	11,325.91	9,356.19	15,757.79	10,909.87



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari penelitian dan analisa yang telah dilakukan dengan batasan masalah yang ada dalam tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut

1. Terjadi penurunan Emisi gas buang dari pemodelan kondisi awal, skenario pertama dan skenario luntuk tahun pertama yaitu PM 48.64 %, SO_x, CO, dan NO_x sekitar 46.91 %. Dan diikuti penurunan yang signifikan untuk tahun tahun berikutnya
2. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 skenario Pemodelan Dinamika Sistem untuk scenario pertama yaitu 10 % dari populasi kapal diganti menggunakan *dual fuel system* akan dapat diaplikasikan sampai tahun ke delapan dengan berpacu peraturan menteri tersebut, namun untuk mulai tahun kesembilan dan berikutnya emisi gas buang yang dihasilkan melebihi standard yang ada yaitu 68.31 mg/m³ untuk SO_x dan 7787.56 mg/m³.
3. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 skenario Pemodelan dengan menggunakan Dinamika Sistem untuk scenario kedua yang merupakan tindak lanjut dari skenario pertama yaitu 20 % dari populasi kapal menunjukkan kesesuaian dengan peraturan tersebut hingga sepuluh tahun ke depan

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan penelitian ini adalah :

1. Sebaiknya penelitian ini menggunakan metode lain yang real time sehingga lebih mendekati keakuratan yang benar
2. Penghitungan emisi smenggunakan data kapal dengan menggunakan berbagai asumsi sehingga terdapat beberapa kesalahan dengan kondisi nyata, sehingga penelitian selanjutnya agar lebih akurat menggunakan data kapal yang ada di lapangan

Daftar Pustaka

- Altwickner.ER. Air Pollution.-{s.l} : Lewis Publisher,2000
- Bracjen, C[et al} An Analysisi of Exhaust Emisiion fromna Large Ship Dhocked In Humboldt Bay. – Eureka : ENGR416,2007
- Chaaban, F.B, Mehzer, T and Ouwayjan. Option For Emission Reduction From Power Plants : An Economic Evaluation. –Electrical Power and Energy System, 2004
- Cimorelli [et al] AERMOND : Description Of Formulation. United States Environmental Protection Agency (EPA), 2004 <http://www.epa.com/AERMOD/EPA-454R-03-004.pdf>
- Colls, J Air Pollution 2nd Edition. London : New Fetter Lane, 2002
- Flang, Richard. C and Seinfeld J.H (1998). “*Fundamental of Air Pollution Engineering*”. New Jersey : Pretice Halls.
- Goldworthy L, Goldworthy B. (2015). “*Modelling of ship engine exhaust emissions in ports and extensive coastal waters based on terrestrial AIS data-An Australian case study.*”
- Han J, Hayashi Y. (2008). “*A system Dinamic Model of CO2 Mitigation in China’s Inter-City Passanger Transport*”. Graduate School Environment Studies, Nagoya University, Japan.
- Handani D W., Uchida M. 2014. “*Modelling Optimum Operation of Ship Machinery by Using Sistem Dinamic*”. Journal of the JIME (Japan Institute of Marine Engineering). 132-141

- Hutcapic, S.J Modeled Sulphur Dioxide Exposure from a Proposed Coal Fired Power Plant, using Geographic Information system and Air Dispersion Model. MORGENTHAU : Department of Industrial and Management System Engineering , 2004
- Imamura, H dan Scheurs, M.A. Environmental Policy In Japan. United States Of America : Edward Elgar Publishing Inc., 2005
- Ikatan Perusahaan Industri Kapal dan Sarana Lepas Pantai Indonesia (IPERINDO). 2011
- Ishida T. (2003). “*Estimation of Estimate Methods of Air Pollution and Green House Gases from Ship (Journal)*”. Japan: Japan Institute Marine Engineering
- Jalkanen, JP [et al]. Modelling System for the Exhaust Emission Of Marine Traffic and Its Application In the Baltic Sea Area. J. Atmos. Chem. Phys. 2009.- 15229- 15373 : Vol. IX
- Kesgin, U dan Vardar, N. A study On Exhaust Gas Emission From Turkish Strait. Atmospheric Environment, Pergamon, 2001.-http://www.elsevier.com/locate/atmosenv/paper_1870.pdf
- Latif, M Z. 2013. “Penjadwalan Perawatan Mesin Pendingin dengan menggunakan Pemodelan Dinamika Sistem”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya
- Nevers N.D. Air Pollution Control Engineering. United States of America: McGraw Hill Companies, 2000
- Perkins, Henry C. (1974) “*Air Pollution*” McGraw Hill Kogakusha Ltd, Tokyo
- Petrovsky, N. Marine Internal Combustion Engine. Moscow : Mir Publisher, 1961.

- Pingjian L [et al] Case Study On Health Assetment Related to a Modal Shift in Transportation. Journal of Marine Science and Technology, 2006
- Pitana T, Kobayashi E and Wakabayashi N. “*Estimate of Exhaust Emission of Marine Traffic Using Automatic Identification Sistem Data (Case Study: Madura Strait Area, Indonesia)* [Journal]”. Sydney 24-27 May: OCEANS 2010 LEE CFP100CF-CDR 978-1-4244-5223.2010
- Seinfeld, J. H. Air Poluution; Physical and Chemical Fundamental. McGraw Hill, inc, 1975
- Schrooten L, Vlinger I D, Panis L I, Chiffi C, Pastori E. (2009). “*Emission of maritime transport: A European reference system*”.
- Trozzi C dan Vaccaro R. Actual and Future Air Pollutan Emission From Ships. INRESTS Conference.-Austria : INRETS Works Press, 1999
- Trozzi, C dan Vacaro, R. Methodologies For EstimatingFuture Air Pollutant Emission From Ships. Techne Report MEET RF98b, 1998

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Tulungagung, 15 Desember 1993 . Sejak kecil mengawali pendidikan di TK Dharma Wanita Kec Kauman dan dilanjutkan ke jenjang selanjutnya di SD Negeri Kauman 2. Setelah menempuh pendidikan dasar, penulis melanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMPN 1 Kauman Tulungagung. Dari kecil penulis sangat mudah bergaul dan aktif di kegiatan berorganisasi dan social, baik di sekolah maupaun di luar sekolah. Setelah tamat , penulis mendapatkan beasiswa dari Yayasan Putera Sampoerna dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 10 Malang melalui program Sampoerna Academy (International Boarding School). Penulis pernah menjadi PASKIBRAKA kota Malang tahun 2010 di masa sekolahnya. Pendidikan Strata-1 ditempuh di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS Surabaya. Semasa kuliah, penulis menjadi mahasiswa aktif berorganisasi di Himasiskal dan BEM ITS, serta kegiatan-kegiatan lainnya. Mempunya hobi dan kemampuan berbiacara sering menjadikan kerja sambilan sebagai pembawa acara di berbagai acara baik di dalam kampus mapun luar kampus. Penulis mengambil bidang minat *Realibility, Availability, Maintainability , and Safety* (RAMS) sebagai bahan skripsi untuk menyelesaikan pendidikan strata-1